Böggild

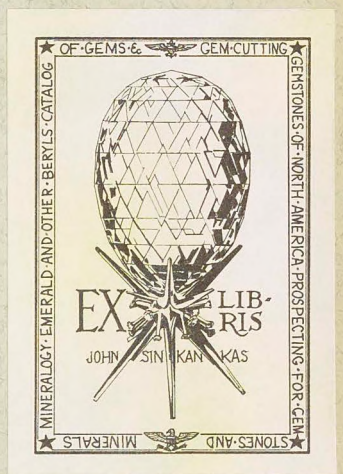
Überreicht vom Verfasser.

MINERALOGICAL AND GEOLOGICAL MUSEUM OF THE UNIVERSITY, COPENHAGEN.
CONTRIBUTIONS TO MINERALOGY. No. 10.

Krystallform und Zwillingsbildungen des Kryoliths, des Perowskits und des Boracits

von

O. B. Böggild



Mit 32 Figuren im Text und 2 Tafeln

Sonderabdruck aus: »Zeitschrift für Krystallographie usw.« L. Band, 4. u. 5. Heft

Leipzig
Wilhelm Engelmann
1912

Inhalt des 4. u. 5. Heftes.

Seite

XXVII. *W. T. Schaller*, krystallisierter Variscit von Utah. (Mit 2 Textfiguren) 321
XXVIII. *Derselbe*, die chemische Zusammensetzung des Nephelins 343
XXIX. *Derselbe*, Barbierit, ein monokliner Natronfeldspat 347
XXX. *O. B. Böggild*, Krystallform und Zwillingsbildungen des Kryoliths, des Perowskits und des Boracits. (Hierzu Tafel VI und VII und 32 Textfiguren) 349
XXXI. *Derselbe*, über die Krystallform des Britholiths. (Mit 2 Textfiguren) . 430
XXXII. *W. Werenskiold*, die Genauigkeit der Krystallberechnungen. (Mit 1 Textfigur) 437
XXXIII. *V. Goldschmidt* und *H. Philipp*, über Danburit von Obira (Japan). (Hierzu Tafel VIII—X) 443
XXXIV. *P. Kolbeck* und *V. Goldschmidt*, über Samsonit von Andreasberg. (Mit 2 Textfiguren) 455
XXXV. *V. Goldschmidt*, über Lösungs-, Wachstums- und neutrale Körper aus der Kugel 459
XXXVI. *Auszüge.*
1. *G. Wyrouboff*, krystallographische Untersuchung einiger Salze des Ergothionins 463
2. *P. Kusnetzoff*, die labilen Modificationen von $MnBr_2 \cdot 4H_2O$ und $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ 463
3. *H. Copaux*, krystallographische Untersuchung einiger organischer Verbindungen 464
4. *P. Jolibois*, die allotropen Zustände des Phosphors 464
5. *M. Coste*, über die Umwandlungen des Selens 465
6. *F. M. Jaeger*, Krystallform des Lupeons, $C_{31}H_{48}O$ 465
7. *L. Frischauer*, über einen Einfluß des Radiums auf die Krystallisationsgeschwindigkeit 466
8. *G. Urbain*, spectrographische Analyse der Blenden 466
9. *E. Henriot* und *G. Vavon*, über die Radioactivität der Kaliumsalze 466
10. *G. Meslin*, über den magnetischen Dichroismus des Calcits und Dolomits in den Suspensionen 467
11. *Derselbe*, 1) über den magnetischen Dichroismus von Mineralproben 467
Derselbe, 2) über den magnetischen Dichroismus der seltenen Erden 467
Derselbe, 3) magnetischer Dichroismus von Suspensionen, welche Eisenspat enthalten 467
Derselbe, 4) magnetischer Dichroismus und Orientierung von Eisenspatkrystallen im magnetischen Felde 467
Derselbe, 5) über den magnetischen Dichroismus von Suspensionen 467
12. *J. Chaudier*, Beziehung zwischen der elektrischen Doppelbrechung der Suspensionen und der optischen Doppelbrechung der festen Bestandteile 468
13. *J. Becquerel*, über das Rotationsvermögen bei tiefen Temperaturen und über die Beziehung zwischen der Absorption des Lichtes und der Rotationspolarisation in den Zinnoberkrystallen 469
14. *Derselbe*, über eine neue Art von magnetischer Zerlegung der Absorptionsbanden der Krystalle. Gleichzeitige Erzeugung von einander entgegengesetzt circular polarisierten Systemen 469
15. *Derselbe*, über die Existenz von Unsymmetrien in bezug auf die Lage der einzelnen Componenten, wie sie bei der magnetischen Zerlegung der Absorptionsbanden eines einaxigen Krystalls parallel zu den Kraftlinien und zur optischen Axe des Krystalls beobachtet werden 470
Derselbe, über verschiedene Arten von Intensitätsdissymmetrien, wie sie an den magnetischen, circular polarisierten Absorptionsbanden der einaxigen Krystalle beobachtet werden 470
Derselbe, Einfluß eines Magnetfeldes auf die Dämpfung der Lichtschwingungen 470
16. *J. Perrin*, über die angebliche Anomalie bei der Krystallisationsgeschwindigkeit 471
17. *Conr. Granell*, Untersuchung der Wolframmineralien von Spanien 472
18. *R. Llord y Gamboa*, chemische Analyse des Aragonits von Molina de Aragon 473

(Die Fortsetzung des Inhalts befindet sich auf der dritten Umschlagseite.)

2 75 3/73
Wyngaert
ISL
00071258

XXX. Krystallform und Zwillingsbildungen des Kryoliths, des Perowskits und des Boracits[1]).

Von

O. B. Böggild in Kopenhagen.

(Hierzu Taf. VI und VII und 32 Textfiguren.)

Seitdem die Kryolithkrystalle zum ersten Male beschrieben wurden, ist dieses Mineral Gegenstand vieler Abhandlungen gewesen, in welchen die verschiedenen Verff. zu stark divergierenden Resultaten betreffend die Krystallform und namentlich die Zwillingsbildungen des Minerals gekommen sind. Während das erstgenannte Verhältnis schon längst sichergestellt worden ist, ist dasselbe bei weitem nicht mit den Zwillingsgesetzen der Fall, in welcher Beziehung der Kryolith vielleicht die am meisten complicierte von allen bekannten Substanzen ist; es hat hier speciell das häufige Vorkommen von heteroaxialen Zwillingen und solchen ohne rationelle Zwillingsebene die Begriffe unklar gemacht. Durch die vorliegende Untersuchung hoffe ich jedoch diese Verhältnisse festgestellt zu haben.

Als Untersuchungsmaterial für diese Arbeit haben mir die sehr reichhaltigen Sammlungen von Kryolith in dem mineralogischen Museum in Kopenhagen gedient; namentlich haben einige außerordentlich schön ausgebildete Krystalle, die von Flink im Jahre 1897 gesammelt wurden, und einige andere, die von der Kryolithgesellschaft im Jahre 1908 eingeschickt wurden, für die Untersuchung große Bedeutung gehabt.

Nachdem die verschiedenen Zwillingsgesetze des Kryoliths constatiert waren, ließen sich verhältnismäßig leicht die Gesetze bei den teilweise analog gebauten Mineralien Perowskit und Boracit bestimmen und dadurch auch die krystallographischen Elemente derselben feststellen; diese beiden Mineralien sind deswegen auch in die vorliegende Abhandlung miteinbezogen

---

1) Vorher in »Meddelelser om Grönland« **50** in etwas geänderter Form erschienen.

worden, trotzdem sie in anderen Beziehungen weder miteinander, noch mit dem Kryolith näher verwandt sind.

Die krystallographischen Untersuchungen wurden teils in dem Institut des Prof. Goldschmidt in Heidelberg, teils in Kopenhagen vorgenommen. Als Instrument ist das zweikreisige Goniometer gebraucht worden, das in dem vorliegenden Falle sich als außerordentlich practisch und leicht verwendbar gezeigt hat.

I. Die Kryolithkrystalle.

Aus practischen Gründen habe ich es für passend gefunden, bei der Beschreibung des Kryoliths die Krystalle auf der einen Seite und die großkörnigen Massen auf der anderen Seite zu behandeln. Die beiden Sorten verhalten sich nämlich in vielen Beziehungen so verschiedenartig[1]), daß sie wie zwei gesonderte Substanzen aussehen, wie man auch annehmen muß, daß sie auf verschiedene Weise gebildet sind.

1. Das Vorkommen.

Die gewöhnliche Weise, in welcher die Kryolithkrystalle aufsitzen, ist so bekannt, daß sie keiner weiteren Erwähnung bedarf. Gewöhnlich finden sie sich auf Spalten in dem körnigen Kryolith und mit den großen Individuen der Unterlage parallel gestellt; in der Regel wird man jedoch auch häufig einige Krystalle finden können, die mehr zufällig orientiert sind und bisweilen ist dies mit den meisten der Krystalle der Fall. Oftmals grenzen die Krystalle unmittelbar an den körnigen Kryolith, der bisweilen sich in die Mitte der größeren Krystalle hinein fortsetzt, in welchem Falle es keine scharfe Grenze zwischen beiden Sorten Kryolith gibt; oftmals sind sie voneinander durch eine dünne, weiße oder gelbliche, feinkörnige oder dichte Schicht, die nach der Analyse von Brandl[2]) aus reinem Kryolith besteht, getrennt.

Die früher erwähnten, von Flink gesammelten Krystalle kommen in wesentlich anderer Weise als die gewöhnlichen vor; in den vorliegenden Handstücken findet sich keine Spur von körnigem Kryolith; das ganze bildet eine lockere Masse, aus Eisenspat zusammen mit den anderen Erzen, die im Kryolith gewöhnlich sind, bestehend, und die Wände der Hohlräume dieser Masse sind mit einer dünnen Schicht von feinkörnigem Kryolith ausgekleidet, auf welcher die Krystalle ganz unregelmäßig aufgewachsen sind.

---

1) Dieses Verhältnis ist von Johnstrup (12 Skand. Naturforskaremötets Förh. Stockholm 1880, 234) deutlich hervorgehoben worden.

2) S. Groth, diese Zeitschr. 1883, 7, 375.

2. Das Krystallsystem.

Die erste Beschreibung der Kryolithkrystalle ist von Hagemann[1]) gegeben worden; er bestimmte das Mineral als rhombisch; die Messungen sind mit dem Anlegegoniometer vorgenommen worden, und mit diesem Apparate ist es natürlich unmöglich, die Schiefe in dem Winkel zwischen Basis und Prisma zu constatieren. Später hat Dana[2]) die Krystalle untersucht und als rhombisch? bestimmt; die Messungen zeigen, daß die Krystalle äußerlich schlecht ausgebildet gewesen sein müssen, da die einzelnen Werte teils voneinander um mehrere Grade differieren (z. B. $(110):(1\bar{1}0) = 85^0—89^0\,30'$), teils von den theoretischen Werten (nach Krenner) stark abweichend sind; wenn auch die Messungen meist darauf hindeuteten, daß die Krystalle monoklin seien, und Des Cloizeaux (nach Dana's Auffassung) auch optisch zu demselben Resultate gekommen war, meinte Dana doch, daß sie rhombisch seien, weil die vermutete Zwillingsbildung nach {110} keinen einspringenden Winkel auf {001} hervorbrachte; wie nachher gezeigt werden soll, ist es jedoch wahrscheinlich, daß dieses Gesetz beim grönländischen Kryolith gar nicht existiert, sondern durch das naheliegende nach [110] ersetzt ist und dieses darf eben keine einspringende Kante auf {001} hervorbringen; hiermit fällt auch der einzige Grund für Dana, die Krystalle für rhombisch zu halten, weg.

Beinahe zur selben Zeit beschrieb Websky[3]) die Kryolithkrystalle und fand, daß sie triklin seien; die Messungen, woraus er dieses schließt, zeigen, daß er ein recht unvollkommenes Material zur Verfügung gehabt haben muß; meistens ist jeder Winkel nur einmal gemessen und die Erfahrung zeigt, daß die stark gestreiften Hauptflächen bei den gewöhnlichen Krystallen recht schlechte Reflexe und stark abweichende Winkelwerte liefern. Schon ein Blick auf die Fundamentalwinkel von Websky wird uns dies zeigen:

		Theor. (nach Krenner):
$(1\bar{1}0):(110)$	$= 88^0\ 3'$	$88^0\ 2'$
$(1\bar{1}0):(001)$	$89\ 36$	$89\ 52$
$(110):(001)$	$89\ 58$	$89\ 52$
$(0\bar{1}1):(1\bar{1}0)$	$55\ 30$	$55\ 35$
$(01\bar{1}):(110)$	$55\ 46$	$55\ 46$

Namentlich geben die Winkel zwischen Prisma und Basis sehr schlechte Werte; aus den übrigen Messungen Websky's sind folgende zu beachten:

---

1) Amer. Journ. of Science 1866, **42**, 268.
2) System of Mineralogy 1868, 5th ed., 126.
3) N. Jahrb. f. Min. usw. 1867, 810.

		Theor. (nach Websky):	Theor. (nach Krenner):
$(011):(001)$	$= 54^0 27' - 54^0 32'$	$54^0 24'$	$54^0 14'$
$(0\bar{1}1):(001)$	$54\ \ 3 - 54\ \ 6$	$54\ \ 3$	$54\ 14$

Hier scheint es, daß die gefundenen Werte ganz gut für das trikline System sprechen; Websky sagt aber selbst, daß die Flächen von {001} stets zwei Reflexe geben, die voneinander um 20′ abstehen und in der Zone $(001):(0\bar{1}1)$ liegen, und daß er stets einen Punkt in der Mitte zwischen beiden Reflexen als wirkliche Lage der Basis eingestellt habe; nimmt man nun an, daß das Vorkommen von diesen zwei Reflexen (die ich übrigens niemals selbst beobachtet habe) darauf hindeutet, daß die beiden Seiten des Krystalls nicht vollkommen parallel orientiert sind, so kann man leicht zu solchen Werten wie den obenstehenden kommen.

Auch durch optische Untersuchungen hat man beweisen wollen, daß das Mineral triklin sei. Des Cloizeaux[1]), der den großkörnigen Kryolith untersuchte, als die Krystalle noch nicht bekannt waren, findet, daß die optischen Verhältnisse in Verbindung mit dem Umstand, daß die drei Hauptspaltrichtungen ungleich stark ausgeprägt sind, darauf hindeutet, daß das Mineral triklin sei; wie ich später zeigen werde, sind die »Spaltrichtungen« in dem körnigen Kryolith sicher nur eine durch Zwillingsbildung hervorgebrachte Absonderung und infolgedessen kann man aus ihrer verschiedenen Stärke nichts betreffend der Krystallform schließen. Die Winkelwerte, die Des Cloizeaux später[2]) für Spaltstücke angibt, zeigen, wie unmöglich es ist, aus diesen etwas zu schließen; alle drei Winkel zwischen den drei Hauptrichtungen weichen von 90° um beinahe $1\frac{1}{2}^0$ ab, während die Abweichung für die beiden Winkel nur 8′ sein sollte.

Websky, der auch die optischen Verhältnisse untersucht hat, findet, daß die spitze Bisectrix einen Winkel von ca. 5° mit der krystallographischen Axenebene $a:c$ bildet, welcher Winkel, falls der Krystall monoklin wäre, 0° sein sollte; die ziemlich complicierte Methode, nach welcher Websky diese Untersuchung gemacht hat, kann jedoch kaum zu einem genauen Resultat führen.

Nachdem Krenner[3]) und Groth[4]) nachgewiesen hatten, daß der Kryolith monoklin ist, suchte Des Cloizeaux[5]) noch einmal ihn triklin zu machen, indem er hauptsächlich darauf hinwies, daß die Auslöschungsrichtungen auf einer Fläche von $\{\bar{1}01\}$ nicht symmetrisch im Verhältnis zur Begrenzung dieser Fläche waren; die Abweichung war jedoch nur ca. 2°,

1) Ann. des Mines 1857, **11**, 292 u. 324. 2) Nouv. Recherches 1867, 201.

3) N. Jahrb. f. Min. usw. 1877, 504 und Mat. u. Naturw. Ber. aus Ungarn 1883, **1**, 3. Ausz. diese Zeitschr. **10**, 525.

4) Diese Zeitschr. 1883, **7**, 375.

5) Bull. Soc. Min. de France 1883, **6**, 254. Ausz. diese Zeitschr. **10**, 642.

welche, wie es schon Groth[1]) in seinem Referate über diese Abhandlung nachgewiesen hat, sicher nicht außerhalb der Genauigkeitsgrenze bei der benutzten Methode liegt. Die von Des Cloizeaux angestellten Winkelmessungen, bei welchen er ähnliche Werte wie diejenigen von Websky erhielt, zeigen, daß das von ihm benutzte Material sehr schlecht gewesen sein muß.

Durch die von mir ausgeführten Messungen, für welche ich sehr wohl ausgebildete Krystalle benutzt habe, konnte ich bestimmt constatieren, daß der Kryolith monoklin ist. Wie die nachher ausgeführte Winkeltabelle zeigen wird, stimmen die für die besten Krystalle gefundenen Werte vollkommen mit den theoretischen nach Krenner überein; im folgenden habe ich daher überall dessen Elemente gebraucht:

$$a : b : c = 0{,}96615 : 1 : 1{,}3883; \quad \beta = 90^{0}11'$$

3. Combinationen.

Die gewöhnlichen Kryolithkrystalle sind in einer ganz bestimmten Form ausgebildet, die in den verschiedenen Fällen nur wenig variiert; diese Form ist schon von Krenner beschrieben, und ich kann im wesentlichen seine Resultate bestätigen, wenn ich auch meine, daß einige von den selteneren Flächen, die er angegeben hat, nicht sicher bestimmt sind.

Die gewöhnlichsten Formen, die stets auch am meisten hervortreten, sind $c\{001\}$ und $m\{110\}$, die zusammen die wohlbekannte würfelähnliche Combination bilden; nach diesen sind die gewöhnlichsten die oktaëderähnlichen Abstumpfungen der Ecken, nämlich $r\{011\}$, $v\{101\}$ und $k\{\bar{1}01\}$, und danach $a\{100\}$, $p\{111\}$ und $s\{121\}$. Keine von diesen Formen ist selten, wenn sie auch meistens ganz klein sind; hiermit tritt aber, wie es scheint, eine ganz ausgesprochene Unterbrechung in der Flächenausbildung ein, und man kann eine sehr große Anzahl von Krystallen durchsuchen, ohne eine einzige andere Form zu finden. Selbst an den kleinen Krystallen von 1897, in welchen die sechs zuletztgenannten Formen oft relativ bedeutende Größe erreichen, findet man keine Spur von anderen Formen, wenn man von einigen Zwillingskrystallen absieht, wo die betreffenden Formen ganz sicher durch Gleitung hervorgebracht sind. Nur die Krystalle von 1908 besitzen einige andere Formen, die ganz sicher primär sind und im folgenden näher besprochen werden sollen. Zuerst müssen jedoch die Fälle, in denen man früher andere Formen erwähnt hat, untersucht werden.

Websky erwähnt die Formen $q\{12\bar{1}\}$ und $o\{11\bar{1}\}$, während er die entsprechenden $\{121\}$ und $\{111\}$ nicht kennt; dieses Verhältnis macht es

1) Diese Zeitschr. 1885, **10**, 642.

sehr wahrscheinlich, daß er die positiven und negativen Teile der Krystalle vertauscht hat; im allgemeinen sind seine Messungen wohl gut genug, um daraus die stumpfen und spitzen Kanten zwischen Prisma und Basis unterscheiden zu können; man weiß aber nicht, ob dies mit denjenigen Krystallen, an welchen die betreffenden Flächen gefunden sind, der Fall gewesen ist; der Umstand, daß Websky angibt, die spitze Bisectrix stehe beinahe senkrecht auf {101}, zeigt, daß er in einzelnen Fällen die vordere und hintere Seite der Krystalle verwechselt haben muß. Die von Websky gemessenen Flächenwinkel können die Frage nicht entscheiden; während $\{11\bar{1}\}$ als so schlecht beschrieben wird, daß es keine Reflexe gibt, sind für $\{12\bar{1}\}$ folgende Winkel gefunden:

					Theor. (nach Krenner):
$(12\bar{1}):(110)$	$= 25^0 27'$	$(12\bar{1}):(110)$	$= 25^0 32'$	$(121):(110)$	$= 25^0 28'$
$(12\bar{1}):(01\bar{1})$	30 1	$(12\bar{1}):(01\bar{1})$	30 14	$(121):(011)$	30 8

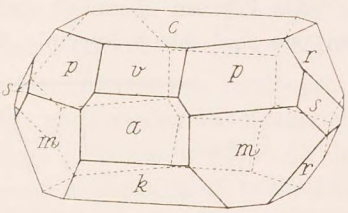
Diese Messungen scheinen eher zu zeigen, daß die betreffende Form {121} ist. Etwas anders stellt sich die Sache, wenn man das Auftreten der genannten Flächen an demjenigen Krystall, der von Websky als Zwilling nach {100} bezeichnet ist, betrachtet (Fig. 5 bei Websky). Wie nachher gezeigt werden soll, ist dieses Zwillingsgesetz bei den Kryolithkrystallen sonst nicht bekannt, und die Messungen, die von Websky angeführt sind, können es nicht beweisen. Wenn die gezeichnete Flächencombination wirklich beobachtet worden ist, müssen wenigstens entweder die Formen $\{11\bar{1}\}$ und $\{12\bar{1}\}$ oder das Zwillingsgesetz {100} existieren.

Auch Krenner erwähnt die beiden genannten Formen, und dies ist um so mehr bemerkenswert, als er ganz gut weiß, daß die beiden Formen selten sind, und also einen großen Wert darauf gelegt haben muß, deren Existenz genau zu constatieren. Man sieht jedoch schon aus den angeführten Winkeln, daß die Flächen so schlecht ausgebildet sind, daß man aus den Messungen nichts schließen kann (der Wert für $(11\bar{1}):(001)$ stimmt vielmehr ganz genau mit dem für $(111):(001)$ berechneten überein), und wie die Flächen an den Krystallen auftreten, erfährt man gar nicht, weder aus dem Texte noch aus den Figuren. Da Krenner jedoch ziemlich sicher die Zwillingsbildungen des Kryoliths falsch bestimmt hat, ist es wohl möglich, daß dies die Annahme der beiden Formen veranlaßt hat; man sieht nämlich, daß eine Zwillingsbildung nach {110} bewirken muß, daß die Flächen von {121} symmetrisch auf beiden Seiten der Zwillingsgrenze auftreten müssen (vergl. Krenner's Fig. 6), während in den Zwillingen nach [110] die Flächen so verteilt sind, wie es die Figur 9 dieser Abhandlung zeigt. Es ist somit wahrscheinlich, daß Krenner, wenn er eine solche Verteilung gesehen hat, daraus zu der Annahme von $\{12\bar{1}\}$ gekommen ist, und analog mit der Form $\{11\bar{1}\}$.

Außer den genannten Formen erwähnt Krenner noch zwei, nämlich $x\{176\}$ und $e\{323\}$, die im Gegensatz zu den vorigen nicht mit bekannten Flächen des Kryoliths verwechselt werden können; $\{176\}$ wird als äußerst schmal beschrieben und ist vielleicht meistens als eine Prärosionsfläche anzusehen, deren Symbol nach den angeführten Messungen jedenfalls höchst unsicher ist; dagegen scheint es, daß die Form $\{323\}$ sicher genug ist, wenn sie nicht aus ähnlichen Gründen, wie sie oben für $\{121\}$ angeführt wurden, mit $\{\bar{3}23\}$ eventuell verwechselt worden ist.

Unter der großen Anzahl von Kryolithkrystallen habe ich trotz Durchsuchung eines sehr reichen Materials keine anderen Formen als die genannten acht gefunden, nämlich $c\{001\}$, $m\{110\}$, $r\{011\}$, $v\{101\}$, $k\{\bar{1}01\}$, $p\{111\}$, $s\{121\}$ und $a\{100\}$; die Krystalle vom Jahre 1897 sind wesentlich dadurch ausgezeichnet, daß die Flächen außerordentlich wohl ausgebildet sind, und daß diejenigen Formen, die sonst sehr wenig hervortretend sind, hier verhältnismäßig groß werden. Ein schematisches Bild von diesen Krystallen ist in Fig. 1 gegeben; viele andere werden in den folgenden Figuren abgebildet werden, wenn man von den für die Hauptform recht unwesentlichen Zwillingsbildungen, die zum Teil secundär sind, absieht.

Fig. 1.



Kryolith; schematisches Bild der kleinen, von Flink gesammelten Krystalle.

Die Krystalle von 1908 sind, wie schon gesagt, viel flächenreicher als andere Kryolithkrystalle; die Größe ist ziemlich gering (1—2 mm); die Flächen sind durchgehend sehr wohl ausgebildet, obgleich sie in dieser Beziehung nicht mit denjenigen der Krystalle von 1897 concurrieren können. Die sonst zurücktretenden Flächen sind auch hier verhältnismäßig groß, doch mit Ausnahme von $a\{100\}$, das stets ganz klein ist. Außer den gewöhnlichen sind an diesen Krystallen die folgenden Formen gefunden worden: $b\{010\}$, $z\{112\}$, $u\{\bar{1}12\}$, $A\{012\}$, $B\{102\}$, $C\{\bar{1}02\}$, $D\{105\}$, $F\{\bar{2}75\}$ und $H\{725\}$?

Die genannten neuen Formen sind in der Regel ganz klein, meistens schmale Kantenabstumpfungen bildend; oft verursachen sie eine starke Streifung auf den angrenzenden Flächen. Meistens sind entweder die Längs- oder die Querdomen hervortretend, und dann ist die Basis in entsprechender Richtung stark gestreift; doch können auch beide Arten von Formen an demselben Krystall ausgebildet sein. Die Streifung kann so stark sein, daß man am Goniometer lange, zusammenhängende Reflexbänder zwischen c und r, v oder k erhält; doch sind die genannten Flächen in der Regel deutlich und bisweilen sehr scharf durch Einzelreflexe ausgeprägt, und es hat sich niemals in diesen Zonen eine Spur von anderen Flächen gezeigt.

Die Formen $A\{012\}$, $E\{015\}$ und $D\{105\}$ haben in einzelnen Fällen sehr gute Reflexe gegeben, und sie sind durch die folgenden Messungen ganz sicher bestimmt:

	Gefunden		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$A\{012\}$	$0^0 11'$	$34^0 41'$	$0^0 16'$	$34^0 46'$
$E\{015\}$	$\left\{\begin{matrix} 0\ 42 \\ 0\ 43 \end{matrix}\right\}$	15 32	0 40	15 31
$D\{105\}$	$\left\{\begin{matrix} 89\ 59 \\ 90\ 0 \end{matrix}\right\}$	$\left\{\begin{matrix} 16\ 10 \\ 16\ 9 \end{matrix}\right\}$	90 0	16 12

Die Formen B und C sind niemals so wohlausgebildet gefunden worden; sie sind durch folgende Messungen bestimmt:

	Gefunden		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$B\{102\}$	$\left\{\begin{matrix} 89^0 59' \\ 90\ 2 \end{matrix}\right\}$	$\left\{\begin{matrix} 34^0 29' \\ 33\ 57 \end{matrix}\right\}$	$90^0 0'$	$35^0 49'$
$C\{\bar{1}02\}$	$\left\{\begin{matrix} \bar{8}9\ 49 \\ \bar{8}9\ 50 \end{matrix}\right\}$	$\left\{\begin{matrix} 35\ 14 \\ 35\ 34 \end{matrix}\right\}$	$\bar{9}0\ 0$	35 34

Wie man sieht, stimmen die Werte für ϱ ziemlich schlecht mit den berechneten überein; doch müssen die Formen als sicher betrachtet werden, da die Indices so wenig compliciert sind.

$F\{\bar{2}75\}$ ist die am häufigsten auftretende und am besten ausgebildete von den neuen Formen; sie verursacht meistens eine Streifung auf der angrenzenden Fläche von $\{110\}$, und es muß angenommen werden, daß es diese Form ist, die die eine von den durch Krenner und andere beschriebenen schrägen Streifungsrichtungen auf den Prismenflächen hervorbringt. Es ist merkwürdig, daß es gerade diese ziemlich complicierte Form ist, die an der Kante zwischen r und m sich findet, und nicht die von Websky und Krenner beschriebene $\{\bar{1}21\}$, welche, wie früher erwähnt, als nicht sicher bestimmt betrachtet werden kann. Für die Form F liegen folgende Messungen von wohl ausgebildeten Flächen vor:

	Gefunden		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$F\{\bar{2}75\}$	$\left\{\begin{matrix} \bar{1}6^0 21' \\ \bar{1}6\ 26 \end{matrix}\right\}$	$\left\{\begin{matrix} 63^0 40' \\ 63\ 46 \end{matrix}\right\}$	$\bar{1}6^0 23'$	$63^0 44'$

Die entsprechende Form $H\{725\}$, die zwischen m und v liegt, ist stets sehr klein und schlecht ausgebildet und kann daher nicht als ganz sicher betrachtet werden. In den beiden Fällen, wo sie gefunden worden ist, hat sie folgende Werte gegeben:

	Gefunden		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$H\{725\}$	$\begin{cases} 74^0 57' \\ 75\ 35 \end{cases}$	$\begin{cases} 63^0 48' \\ 63\ 30 \end{cases}$	74 25	$64^0 25'$

Die Übereinstimmung ist ziemlich schlecht, und die gefundenen Werte stimmen ebenso gut mit der Form $\{413\}$, für welche $\varphi = 76^0 27'$ und $\varrho = 63^0 9'$ ist, und es ist nur wegen der Analogie mit der Form $\{\bar{2}75\}$, daß ich $\{725\}$ als das wahrscheinlichste Symbol für die Fläche ansehe.

Die Formen $b\{010\}$, $z\{112\}$ und $u\{\bar{1}12\}$ sind dadurch merkwürdig, daß sie zusammen mit $a\{100\}$ die vollständige rhombendodekaëderähnliche Form bilden; sie sind sämtlich wohl ausgebildet gefunden worden; an den gemessenen Krystallen wurde b viermal, z und u nur einmal beobachtet, was auch mit a der Fall ist, welche Form doch sonst zu den mehr hervortretenden bei dem Mineral gehört. b, z und u sind durch folgende Messungen bestimmt:

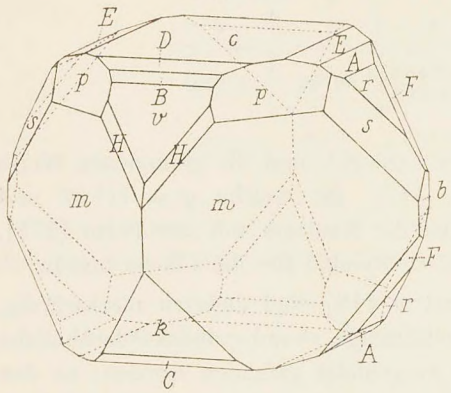
	Gefunden		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ
$b\{010\}$	$\begin{cases} \bar{0}^0\ 3' \\ 0\ \ 3 \end{cases}$	$90^0\ 0'$	$0^0\ 0'$	$90^0\ 0'$
$z\{112\}$	46 4	45 20	46 7	45 2
$u\{\bar{1}12\}$	$\bar{4}5$ 55	44 57	$\bar{4}5$ 54	44 54

Die Verteilung der neuen Formen an den Krystallen scheint ganz unregelmäßig zu sein, mit Ausnahme von dem, was früher betreffs der Domen gesagt wurde. Ein Blick auf sämtliche Combinationen, die an den gemessenen Krystallen beobachtet worden sind, wird dies zeigen: die sieben Formen $c\{001\}$, $m\{110\}$, $r\{011\}$, $v\{101\}$, $k\{\bar{1}01\}$, $p\{111\}$ und $s\{121\}$ kommen an sämtlichen Krystallen vor; außerdem finden sich folgende Combinationen:

$A\,C\,H$
$A\,D\,E\,F$
$A\,D\,b$
A

F (an drei Krystallen)
B C D H z
D F b
u
E b a

Fig. 2.



Kryolith; schematisches Bild der Krystalle von 1908.

Wegen dieser wie es scheint ganz zufälligen Verteilung habe ich nicht einzelne von den Krystallen gezeichnet; die Lage der Flächen ist aus Fig. 2 ersichtlich, die eine Combination von allen den genannten Flächen ist, mit Ausnahme von *z*, *u* und *a*, die je nur einmal gefunden wurden und deren Lage als anscheinende Rhombendodekaëderflächen unmittelbar einleuchtend ist.

Einen neuen, recht merkwürdigen Typus habe ich ganz kürzlich (im Jahre 1911) auf zwei kleinen Handstücken gefunden, die von Ussing 1908 in Ivigtut gesammelt worden waren. Sie zeigen beinahe dieselbe Combination wie die gewöhnlichen Krystalle; nur fehlt stets $a\{100\}$ und dafür ist $b\{010\}$ vorhanden und oft recht groß. Die Flächen dieser Form sind gut ausgebildet und geben schöne Reflexe.

Eine Winkeltabelle für sämtliche am Kryolith gefundenen neuen Formen ist auf S. 359 oben gegeben; in derselben sind auch die secundären, durch Gleitung hervorgebrachten neuen Formen (*n*, *f*, *g*, *d*, *y*, *o*, *h* und *i*) angeführt, die in einem späteren Capitel erwähnt werden sollen. Betreffs der früher bekannten Formen wird auf die Winkeltabellen von Goldschmidt hingewiesen.

4. Zwillingsbildungen.

Die Zwillingsgesetze des Kryoliths sind in sehr verschiedener Weise gedeutet worden, und es ist auch sicher, daß sie recht schwer zu bestimmen sind, wenn das Material nicht gut ausgebildet ist. Hierzu trägt am meisten bei, daß alle Gesetze, die bei dem Mineral bekannt sind, nur ganz kleine Veränderungen in dem Habitus der Krystalle hervorbringen. Die würfelähnliche Form, die dadurch hervorgebracht wird, daß Prisma und Basis beinahe stets dominierend sind, wird durch die bekannten Zwillingsgesetze, die sich wesentlich durch schwach ein- oder ausspringende

Nr.	Buchstab.	Symbol	Miller	φ	ϱ	ξ_0	η_0	ξ	η	x' $(x:y)$	y'	$d' =$ tg ϱ
14	b	0∞	(010)	0° 0′	90° 0′	0° 0′	90° 0′	0° 0′	90° 0′	0	∞	∞
15	n	3∞	(310)	72 9	90 0	90 0	90 0	72 9	17 51	3,1049	∞	∞
16	f	$\infty 3$	(130)	19 2	90 0	90 0	90 0	19 2	70 58	0,3450	∞	∞
17	A	$0\frac{1}{2}$	(012)	0 16	34 46	0 11	34 46	0 9	34 46	0,0032	0,6941	0,6941
18	g	$0\frac{1}{3}$	(013)	0 24	24 50	0 11	24 50	0 10	24 50	0,0032	0,4628	0,4628
19	E	$0\frac{1}{5}$	(015)	0 40	15 31	0 11	15 31	0 11	15 31	0,0032	0,2777	0,2777
20	B	$\frac{1}{2}0$	(102)	90 0	35 49	39 49	0 0	35 49	0 0	0,7216	0	0,7216
21	D	$\frac{1}{5}0$	(105)	90 0	16 12	16 12	0 0	16 12	0 0	0,2906	0	0,2906
22	C	$-\frac{1}{2}0$	$(\bar{1}02)$	$\bar{9}0$ 0	35 34	$\bar{3}5$ 34	0 0	$\bar{3}5$ 34	0 0	$\bar{0}$,7152	0	0,7152
23	d	$-\frac{1}{3}0$	$(\bar{1}03)$	$\bar{9}0$ 0	25 26	$\bar{2}5$ 26	0 0	$\bar{2}5$ 26	0 0	$\bar{0}$,4547	0	0,4547
24	y	21	(211)	64 14	72 37	70 50	54 14	59 15	24 30	2,8768	1,3889	3,1914
25	v	-21	$(\bar{2}11)$	$\bar{6}4$ 14	72 35	$\bar{7}0$ 47	54 14	$\bar{5}9$ 12	24 33	$\bar{2}$,8704	1,3889	3,1885
26	u	$-\frac{1}{2}\frac{1}{2}$	$(\bar{1}12)$	$\bar{4}5$ 51	44 54	$\bar{3}5$ 34	34 46	$\bar{3}0$ 26	29 27	$\bar{0}$,7152	0,6941	0,9967
27	h	$\frac{1}{4}$	(114)	46 14	26 39	19 55	19 8	18 54	18 4	0,3624	0,3471	0,5018
28	i	$-\frac{1}{4}\frac{1}{4}$	$(\bar{1}14)$	$\bar{4}5$ 43	26 26	$\bar{1}9$ 36	19 8	$\bar{1}8$ 35	18 6	$\bar{0}$,3560	0,3471	0,4955
29	F	$-\frac{2}{5}\frac{2}{5}$	$(\bar{2}75)$	$\bar{1}6$ 23	63 44	$\bar{2}9$ 45	62 47	$\bar{1}4$ 39	59 21	$\bar{0}$,5705	1,9437	2,0262
30	H	$\frac{7}{5}\frac{2}{5}$	(725)	74 35	64 25	63 36	29 3	60 24	13 51	2,0147	0,5553	2,0894

Winkel auf diesen Flächen zeigen, nicht geändert. Da die Flächen ohnehin meistens stark gestreift oder facettiert sind, wird man verstehen können, daß die Zwillingsbildungen schwer zu deuten gewesen sind.

Die für die Kryolithkrystalle angegebenen Zwillingsgesetze sind die folgenden:

Websky 1867: {001} und {100}.
Dana 1868: {110}.
Krenner 1877: {110}.
Krenner 1881 und 1883: {110} und {112}.
Baumhauer 1886, 1891 und 1895: Zwillingsaxe die Kante [110]; Drehung um 89°52′ (oder 90°8′) und 180°.

Da ich bei der Durchsicht von sehr vielen Krystallen nur die beiden Gesetze von Baumhauer habe constatieren können und dazu noch zwei neue, die später erwähnt werden sollen, halte ich es für wahrscheinlich, daß die übrigen an den Krystallen nicht existieren, wofür ich später Gründe geben werde. Etwas anders verhält sich der körnige Kryolith, an welchem man, wie in einem späteren Abschnitt gezeigt werden soll, auch mehrere von den übrigen obengenannten Gesetzen finden kann. Wie früher gesagt, dringt diese stark polysynthetische Substanz auch in die Mitte der größeren Krystalle hinein, und in einem Schliff aus einem solchen wird man dann auch diese Zwillingsbildungen antreffen können. Sie gehen aber an keiner Stelle über die Oberfläche der Krystalle hinaus und können sich daher nicht in der äußeren Begrenzung der Krystalle geltend machen.

Websky[1]) erwähnt, wie gesagt, Zwillinge nach {100} und {001}; er

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1867, 810.

fügt aber hinzu: »die zu ihrer Begründung mir zur Verfügung stehenden Tatsachen entbehren allerdings noch einer genügenden Vielseitigkeit«. Ein Zwillingskrystall der ersten Art ist auf der Tafel von Websky in Fig. 5 abgebildet; die Winkelmessungen, die als Stütze für das Gesetz angeführt werden, sind nicht sehr überzeugend; der wesentlichste Beweis ist, daß der Reflex von (001) aus zwei Bildern in einem Abstand von 45′ besteht, welcher Wert nach den Elementen von Websky 36′ sein sollte, während er nach den sehr genauen Elementen von Krenner nur 22′ sein sollte. Der Umstand, daß zwei gegenüberliegende Querdomenflächen gerade die Neigung gegen die Basis besitzen, die dem Werte von $(\bar{1}01):(001)$ entspricht, beweist nicht viel, da der Unterschied zwischen $(101):(001)$ und $(\bar{1}01):(001)$ nur 15′ ausmacht. Schwieriger erklärlich ist, wie schon gesagt, die symmetrische Verteilung der Flächen o und q; es geht jedoch nicht aus der Beschreibung hervor, ob die Flächen wirklich in dieser Lage beobachtet worden sind oder nur aus theoretischen Gründen dort angebracht wurden.

Die Zwillinge nach {001} (Fig. 6 und 7 bei Websky) werden nur durch ganz kleine Winkelabweichungen von der normalen Lage der Flächen motiviert, die wahrscheinlich, wenn man die schlechte Ausbildung der Flächen berücksichtigt, als zufällig betrachtet werden können. Hierfür spricht auch das Verhältnis, daß die beiden Flächen T und $\overline{T}$ in den zwei Figuren in einer bezw. verticalen und horizontalen Kante zusammentreffen, und ebenso, daß der Winkel zwischen m und $\overline{m}$ in Fig. 7 zu 48′ angegeben wird, während kein meßbarer Unterschied zwischen T und $\overline{T}$ vorhanden ist; beide Werte dürften jedoch theoretisch (nach Krenner) derselbe und zwar 16′ sein.

Wenn es auch nach der von Websky gegebenen Beschreibung unmöglich ist, zu erkennen, welche Zwillingsbildungen er wirklich gesehen hat, so ist diese Beschreibung doch jedenfalls ungenügend, um die von ihm selbst angegebenen Gesetze zu constatieren.

Dana[1]) gibt {110} als Zwillingsfläche an; dabei wird ein einspringender Winkel von 3° (theoretisch 3°56′) hervorgebracht, während auf der Basis überhaupt kein Winkel gefunden wird; daraus schließt Dana zunächst, daß das Mineral rhombisch ist, während es, wenn man die von Baumhauer beschriebene Zwillingsbildung nach [110] kennt, leicht zu sehen ist, daß Dana gerade diese beobachtet haben muß.

Krenner[2]) beschreibt, wie oben genannt, Zwillinge nach {110} und

1) System, 5th ed., 127.

2) In einer kurzen Notiz im N. Jahrb. f. Min. usw. 1877, 504 werden nur Zwillinge nach {110} erwähnt, in der vollständigeren Abhandlung in Mat. u. Naturw. Ber. aus Ungarn 1883, 1 dagegen beide. Im folgenden werde ich nur die letztgenannte Abhandlung citieren.

{112}. Beide werden als häufig oder ziemlich häufig angegeben; da es sich inzwischen gezeigt hat, daß die beiden Gesetze von Baumhauer, welche eine Orientierung der Krystalle hervorbringen, die nicht viel von derjenigen bei den obenstehenden Gesetzen abweicht, außerordentlich gewöhnlich sind, während es in keinem Falle möglich gewesen ist, die Zwillingsgesetze von Krenner zu constatieren, so ist es das wahrscheinlichste, daß diese nicht richtig bestimmt sind, was auch von Baumhauer angedeutet worden ist.

Wenn man die Motive, auf welche Krenner sein Zwillingsgesetz {110} stützt, untersucht, findet man, daß er die berechneten Werte $m : \overline{m} = 3^0 56'$ und $c : \overline{c} = 0^0 16'$ anführt; während er aber für den ersten Winkel den beobachteten Wert $3^0 50'$ hat, wird der zweite Winkel nicht als gemessen angegeben; er soll ja auch in den Zwillingen nach [110] nicht existieren. In Fig. 6 und in einer Fußnote zum Text gibt Krenner an, daß die Flächen von {121} symmetrisch im Verhältnis zur Zwillingsgrenze liegen; es geht jedoch daraus nicht hervor, daß dies wirklich beobachtet ist. Ebenfalls scheint die Angabe, daß die Kante zwischen m und $\overline{m}$ parallel mit der c-Axe sein soll, nicht auf direkter Beobachtung zu beruhen, welche auch in der Praxis schwierig sein kann, wenn die Flächen nicht besonders gut ausgebildet sind. Nach dem Gesetz [110] müssen die beiden Richtungen voneinander um $3^0 44\frac{1}{2}'$ abweichen.

Für die Zwillingsbildung nach {112} werden beinahe nur theoretische Werte für die Winkel angeführt. Eine Beobachtung, die direct angegeben wird, ist, daß die Winkel zwischen den beinahe zusammenfallenden Flächen von m und $\overline{c}$ oder c und $\overline{m}$ so klein sind, daß sie nicht beobachtet werden können. Nach dem Gesetz von Krenner sollen diese Winkel nur $4'$ sein, während nach dem Gesetz von Baumhauer der eine Winkel $0'$ und der andere $16'$ sein soll; indessen bewirkt der Umstand, daß die Flächen bei solchen Zwillingsbildungen oft die Tendenz haben, sich nacheinander ganz oder teilweise einzustellen, daß dieser größere Winkel vermindert werden kann. Ferner gibt Krenner an, daß die nahe zusammenstoßenden Flächen von m und $\overline{m}$ miteinander einen Winkel von $2^0 51'$ bilden, welcher Winkel theoretisch $2^0 58'$ sein sollte, während er nach dem Gesetz von Baumhauer $2^0 47'$ oder $2^0 47\frac{1}{2}'$ sein sollte, welche Werte ja dem beobachteten recht nahe stehen. Die Angabe, daß die Kante zwischen m und $\overline{m}$ genau parallel mit der Diagonalstreifung auf m, also mit der Kante zwischen m und v ist, läßt sich sehr schwer durch Beobachtung constatieren, da die erstgenannte Kante, nach dem, was ich gesehen habe, meistens recht unregelmäßig verläuft; theoretisch soll die Abweichung zwischen beiden Richtungen nach dem Gesetz von Baumhauer $2^0 49'$ oder $3^0 13'$ betragen.

Baumhauer hat in drei Abhandlungen[1]) die beiden obengenannten Gesetze an den Kryolithkrystallen nachgewiesen. Für die Constatierung hat er wesentlich die Lage der Ätzfiguren und der Combinationsstreifen auf den Prismenflächen benutzt; im folgenden werde ich viele Beispiele von der Ausbildung dieser Zwillinge an den früher erwähnten, von Flink gesammelten Krystallen geben. Wegen der guten Ausbildung der Krystalle sind Winkelmessungen allein genügend, um die Gesetze festzustellen; doch habe ich in vielen Fällen auch die optischen Verhältnisse berücksichtigt und überall meine Resultate bestätigt gefunden.

a) Zwillinge nach dem Gesetz von Baumhauer[2]).

Bei der Untersuchung von Zwillingen nach dem Gesetz von Baumhauer und nach [110] bietet das zweikreisige Goniometer, wie man leicht sehen kann, große Vorteile dar. Da beiden Gesetzen die Umdrehung um dieselbe Axe, die zugleich Zonenaxe ist, gemeinsam ist, wird man, wenn der Krystall nach dieser Axe polar gestellt ist, erreichen, daß die Werte von ϱ durch die Zwillingsbildung nicht verändert werden, während die Werte von φ für alle Flächen um so viele Grade vergrößert oder vermindert werden, wie die Drehung nach rechts oder links beträgt. Hierdurch lassen sich also diejenigen Flächen, die nicht in der Zone der Zwillingsaxe liegen, unmittelbar für die Bestimmung der Größe der Drehung benutzen, was bei dem einkreisigen Goniometer äußerst schwierig sein würde. Als Nullpunkt des Verticalkreises ist diejenige Fläche von {001} gewählt, die mit der oben liegenden (d. i. der zur Polaraxe beinahe senkrecht stehenden) Fläche von {110} einen stumpfen Winkel bildet. Diese Fläche kann entweder (110) oder ($1\bar{1}0$) sein, und je nachdem das eine oder das andere der Fall ist, erhalten die Krystalle ein verschiedenes, zueinander enantiomorphes Aussehen, woraus folgt, daß die Werte von φ in den beiden Fällen mit entgegengesetzten Vorzeichen auftreten müssen. In der folgenden Tabelle sind die Winkel für die Flächen, die in der genannten Aufstellung beobachtet worden sind, aufgeführt unter der Voraussetzung, daß die oben liegende Fläche (110) ist; 1 bezeichnet das Hauptindividuum, 2a und b die Zwillingslagen, die durch eine Drehung von bezw. 89°52′ und 90°8′ links hervorgebracht werden; das Individuum 3 ist um 180° gedreht, während 4a und b um 90°8′ bezw. 89°52′ rechts gedreht ist. Wenn die obere

---

1) Diese Zeitschr. 1886, **11**, 133; 1891, **18**, 455 und 1895, **24**, 87.

2) Trotzdem Baumhauer beide oben genannten Gesetze gefunden hat, habe ich doch vorgezogen, nur das eine von diesen (Zwillingsaxe die Kante [110], Drehung 89°52′ oder 90°8′) als das Gesetz von Baumhauer zu bezeichnen, während das andere (Axe [110], Drehung 180°) mit dem Gesetze, das gewöhnlich Zwilling nach [110] genannt wird, identisch ist, und daher am leichtesten so bezeichnet werden kann.

Fläche $(1\bar{1}0)$ ist, bleiben alle Werte von φ numerisch gleich, erhalten aber entgegengesetztes Vorzeichen.

Winkeltabelle für Kryolith nach der Zonenaxe [110] polargestellt.

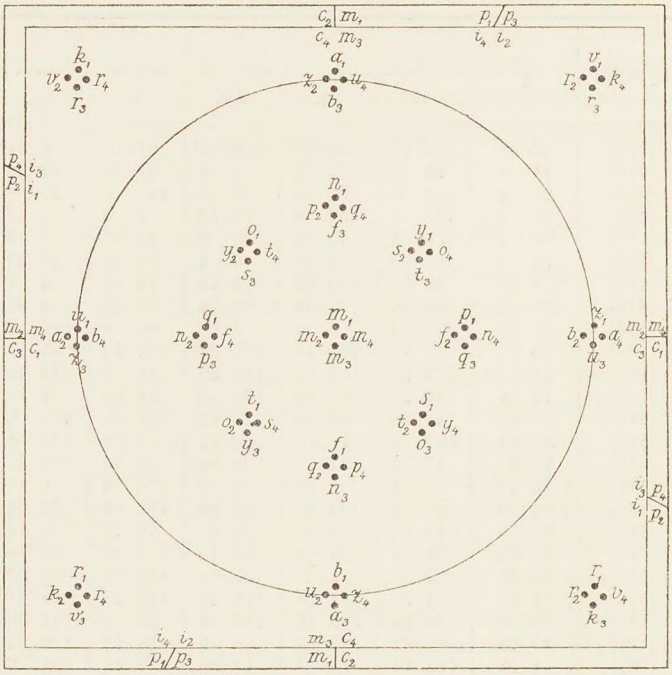
Buchstabe	Symbol	ϱ	φ 1.	2a.	2b.	3.	4a.	4b.
a	(100)	45° 59′	$\bar{8}9°45'$	$\bar{1}79°37'$	$\bar{1}79°53'$	90° 15′	0° 23′	0° 7′
b	(010)	44 1	90 0	0 8	$\bar{0}$ 8	$\bar{9}0$ 0	$\bar{1}79$ 52	179 52
c	(001)	90 0	0 0	$\bar{8}9$ 52	$\bar{9}0$ 8	180 0	90 8	89 52
	$(00\bar{1})$	90 0	180 0	90 8	89 52	0 0	$\bar{8}9$ 52	$\bar{9}0$ 8
m	$(1\bar{1}0)$	90 0	$\bar{8}9$ 52	$\bar{1}79$ 44	180 0	90 8	0 16	0 0
	$(\bar{1}10)$	90 0	90 8	0 16	0 0	$\bar{8}9$ 52	$\bar{1}79$ 44	180 0
	(110)	1 58	$\bar{8}6$ 13	$\bar{1}75$ 59	$\bar{1}76$ 15	93 53	4 1	3 45
n	(310)	28 8	$\bar{8}9$ 38	$\bar{1}79$ 30	$\bar{1}79$ 46	90 22	0 30	0 14
f	(130)	24 59	89 52	0 0	$\bar{0}$ 16	$\bar{9}0$ 8	180 0	179 44
v	(101)	55 17	$\bar{4}5$ 48	$\bar{1}35$ 40	$\bar{1}35$ 56	134 12	44 20	44 4
k	$(10\bar{1})$	55 10	$\bar{1}33$ 56	136 12	135 56	46 4	$\bar{4}3$ 48	$\bar{4}4$ 4
d	$(10\bar{3})$	72 31	$\bar{1}60$ 54	109 14	108 58	19 26	$\bar{7}0$ 46	$\bar{7}1$ 2
r	(011)	54 18	43 58	$\bar{4}5$ 54	$\bar{4}6$ 10	$\bar{1}36$ 2	134 6	133 50
	$(01\bar{1})$	54 18	136 2	46 10	45 54	$\bar{4}3$ 58	$\bar{1}33$ 50	$\bar{1}34$ 6
g	(013)	72 25	17 50	$\bar{6}2$ 2	$\bar{6}2$ 18	$\bar{1}62$ 10	107 58	107 42
p	(111)	26 46	$\bar{3}$ 54	$\bar{9}3$ 46	$\bar{9}4$ 2	176 6	86 14	85 58
	$(1\bar{1}1)$	90 0	$\bar{6}3$ 18	$\bar{1}53$ 10	$\bar{1}53$ 26	116 42	26 50	26 34
	$(\bar{1}\bar{1}1)$	90 0	116 42	26 50	26 34	$\bar{6}3$ 18	$\bar{1}53$ 10	$\bar{1}53$ 26
q	$(11\bar{1})$	26 33	$\bar{1}76$ 4	94 4	93 48	3 56	$\bar{8}5$ 56	$\bar{8}6$ 12
y	(211)	26 31	$\bar{4}7$ 31	$\bar{1}37$ 23	$\bar{1}37$ 39	132 29	42 37	42 21
	$(2\bar{1}1)$	72 36	$\bar{7}1$ 35	$\bar{1}61$ 11	$\bar{1}61$ 27	108 25	18 49	18 33
o	$(21\bar{1})$	26 20	$\bar{1}31$ 58	138 10	137 54	48 2	$\bar{4}1$ 50	$\bar{4}2$ 6
s	(121)	24 13	41 43	$\bar{4}7$ 53	$\bar{4}8$ 9	$\bar{1}38$ 17	132 7	131 51
	$(\bar{1}2\bar{1})$	72 18	108 44	18 53	18 36	$\bar{7}1$ 16	$\bar{1}61$ 7	$\bar{1}61$ 24
t	$(12\bar{1})$	24 6	138 0	48 8	47 52	$\bar{4}2$ 0	$\bar{1}31$ 52	$\bar{1}32$ 8
x	(112)	45 8	$\bar{1}$ 58	$\bar{9}1$ 50	$\bar{9}2$ 6	178 2	88 10	87 54
u	$(11\bar{2})$	45 0	$\bar{1}78$ 2	92 6	91 50	1 58	$\bar{8}7$ 54	$\bar{8}8$ 10
i	(114)	90 0	26 34	$\bar{6}2$ 18	$\bar{6}2$ 34	$\bar{1}53$ 26	117 42	117 26

Alle diejenigen Formen, die in der Tabelle angeführt sind, mit Ausnahme der steilen Flächen von d, g, y und s, sind auf dem beistehenden

		Gefunden φ	Gefunden ϱ	Berechnet φ	Berechnet ϱ
c_1'	(001)	0° 0′	90° 0′	0° 0′	90° 0′
c_1	$(00\bar{1})$	$\bar{1}79$ 58	89 58	180 0	90 0
m_1	(110)	89 52	90 0	89 52	90 0
m_1'	$(\bar{1}10)$	$\bar{9}0$ 8	90 0	$\bar{9}0$ 8	90 0
m_1''	$(1\bar{1}0)$	90 20	1 57	86 13	1 58
p_1	(111)	63 18	90 0	63 18	90 0
p_1'	$(\bar{1}\bar{1}1)$	$\bar{1}17$ 23	90 0	$\bar{1}16$ 42	90 0
p_1''	$(1\bar{1}1)$	3 55	26 37	3 54	26 46
v_1	(101)	45 44	55 15	45 48	55 17
a_1	(100)	89 42	45 58	89 45	45 59
k_1	$(10\bar{1})$	133 55	55 10	133 56	55 10
s_1	$(12\bar{1})$	$\bar{4}1$ 45	24 18	$\bar{4}1$ 43	24 13

Projectionsbild, Fig. 3, dargestellt worden, wo jedoch die Individuen 2a und 2b, wie auch 4a und 4b, zusammengelegt sind. In den meisten von

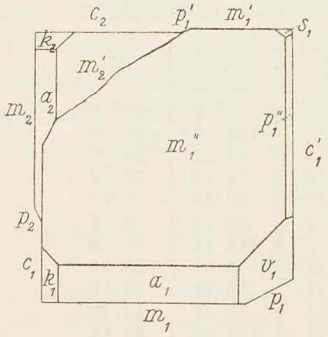
Fig. 3.



Gnomonisches Projectionsbild von den primären und secundären Flächen des Kryoliths. Nach der Axe [110] polargestellt.

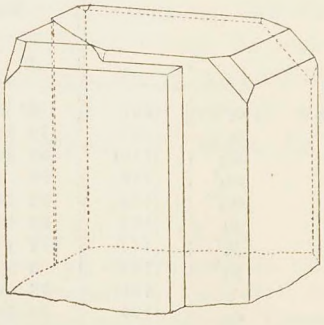
den folgenden Krystallfiguren sind die einzelnen Individuen ähnlich orientiert wie auf dem Projectionsbilde, oder damit enantiomorph, wenn die obere Fläche $(1\bar{1}0)$ ist.

Fig. 4.



Kryolith; Zwilling nach Baumhauer's Gesetz.

Fig. 5.



Derselbe Krystall wie Fig. 4, von der linken Seite gesehen.

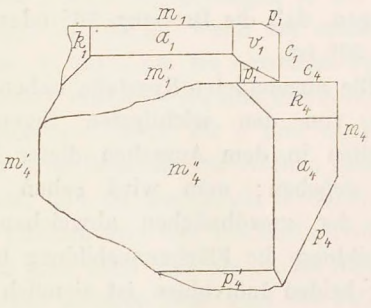
Der Krystall, der in Fig. 4, und perspectivisch, von der linken Seite gesehen, in Fig. 5 dargestellt ist, ist derjenige von diesen Zwillingen, der mit den besten Flächen versehen ist. Der Wert von v_0 für das Hauptindividuum (1) ist durch die sehr guten Flächen m_1, c_1' und m_1' bestimmt worden; übrigens haben die Messungen das Resultat auf S. 363 unten gegeben.

Die einzigen weniger gut übereinstimmenden Werte sind erstens φ für $(1\bar{1}0)$, der wegen des kleinen Wertes von ϱ unmöglich genau werden kann; ferner einzelne von den kleinen Flächen, die nur mit verkleinerndem Ocular haben gemessen werden können. Für das Individuum 2 sind folgende Werte gefunden worden:

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
c_2	$(00\bar{1})$	$\bar{8}9^0 51'$	$90^0\ 0'$	$\bar{8}9^0 52'$	$90^0\ 0'$
m_2	(110)	$\bar{1}79\ 58$	$89\ 58$	$180\ 0$	$90\ 0$
p_2	(111)	$153\ 31$	$90\ 0$	$153\ 26$	$90\ 0$
m_2'	$(1\bar{1}0)$	$177\ 2$	$1\ 57$	$176\ 15$	$1\ 58$
a_2	(100)	$179\ 55$	$46\ 29$	$179\ 53$	$45\ 59$
k_2	$(10\bar{1})$	$\bar{1}35\ 52$	$55\ 11$	$\bar{1}35\ 56$	$55\ 10$

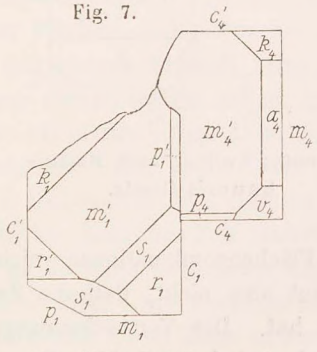
Die für φ berechneten Werte sind diejenigen, die in der obenstehenden Winkeltabelle mit 2b bezeichnet sind, d. i. das Individuum ist im Verhältnis zu 1 um $90^0 8'$ gedreht. Die gefundenen Werte stimmen durchgehends ganz gut mit den berechneten überein, mit Ausnahme von φ für $(1\bar{1}0)$ und ϱ für (100), welche Fläche meistens vertical stark gestreift ist.

Fig. 6.



Kryolith; Zwilling nach Baumhauer's Gesetz.

Fig. 7.



Kryolith; Zwilling nach Baumhauer's Gesetz.

Der Krystall, der in Fig. 6 abgebildet ist, gibt nicht so gute Reflexe; die Winkelmessungen sollen daher nicht angeführt werden; sie ergeben am nächsten eine Drehung von $90^0 8'$.

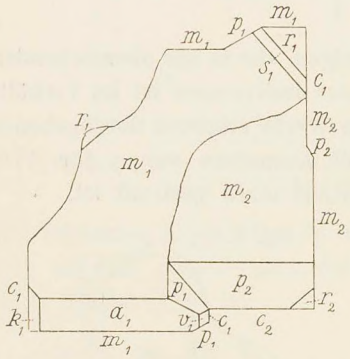
Der Krystall, der in Fig. 7 abgebildet ist, besitzt zahlreiche Flächen,

die recht gute Reflexe geben: doch finden sich recht große Abweichungen zwischen den berechneten und gefundenen Werten; φ_0 ist für Individuum 1 durch Benutzung aller guten Flächen bestimmt worden; für Individuum 4 erhält man für die gut ausgebildeten Flächen die folgenden Werte:

		Gefunden		Berechnet		
		φ	ϱ	φ (4a)	φ (4b)	ϱ
c_4	(001)	89°59′	89°57′	90° 8′	89°52′	90° 0′
c_4'	(00$\bar{1}$)	$\bar{8}9$ 59	90 2	$\bar{8}9$ 52	$\bar{9}0$ 8	90 0
m_4	(1$\bar{1}$0)	0 6	90 1	0 16	0 0	90 0
k_4	(10$\bar{1}$)	$\bar{4}3$ 55	55 10	$\bar{4}3$ 48	$\bar{4}4$ 4	55 10
a_4	(100)	0 14	46 0	0 23	0 7	45 59
v_4	(101)	44 10	55 18	44 20	44 4	55 17

Hier sind die beiden Reihen für φ aufgeführt; es zeigt sich nämlich, daß die gefundenen Werte beinahe in der Mitte zwischen beiden liegen, daß man es also hier am nächsten mit einer Drehung von 90° zu tun hat.

Fig. 8.



Kryolith; Zwilling nach Baumhauer's Gesetz.

Der Krystall Fig. 8 zeigt ein etwas ähnliches Verhalten; die Umdrehung ist auch hier am nächsten an 90°. Da einige andere Krystalle, die ich gemessen habe, dasselbe Resultat gegeben haben, ist dies vielleicht der allgemeinste Fall; es ist daher wohl das richtigste, das Gesetz etwas anders zu formulieren, als Baumhauer es getan hat, und statt einer Umdrehung von 89°52′ oder 90°8′ um die Axe [110] zu sagen, daß die Drehung 90° oder beinahe 90° ist.

Die abgebildeten Krystalle haben Beispiele von den wichtigsten Eigentümlichkeiten in dem Aussehen dieser Zwillinge gegeben; man wird sehen, daß die Flächencombinationen nicht von der gewöhnlichen abweichen; es scheint also nicht, daß die Zwillingsbildung die Flächenausbildung beeinflußt hat. Der Verwachsungsgrad der beiden Individuen ist ziemlich verschieden, indem sie bisweilen (Fig. 4) sich zu einer würfelförmigen Masse zusammenschließen, während sie in anderen Fällen mehr selbständig ausgebildet sind. Wie früher erwähnt, ist es für den Habitus der Zwillinge nicht ganz gleichgültig, ob die nach oben gekehrte Prismenfläche (110) oder (1$\bar{1}$0) ist; der erste Fall kann aus Fig. 6 und 7, der zweite aus Fig. 4 und 8 ersehen werden. Ein anderer Unterschied wird dadurch hervor-

gebracht, daß der Winkel, den die Prismenflächen auf der Oberseite des Krystalles miteinander bilden, in einigen Fällen (Fig. 4) einspringend, in anderen (Fig. 8) ausspringend sein kann. Man wird ferner sehen, daß die Zwillingsgrenze stets sehr unregelmäßig ist, was nicht darin begründet ist, daß die Flächen weniger gut ausgebildet sind, sondern darin, daß die beiden Individuen an der Grenze nicht in demselben Niveau liegen, sondern das eine sich mehr oder weniger über das andere emporhebt; bisweilen, wie in Fig. 4, erhält man den Eindruck, daß das eine Individuum eine große Strecke über das andere hinüberwächst.

Die hier beschriebenen Zwillinge gehören zu der Klasse, die von Goldschmidt[1]) heteroaxial genannt wird, und sie bilden einen der wenigen Fälle, in welchen es nicht möglich ist, sie mit den gewöhnlichen (homoaxialen) Zwillingen zu verwechseln, wenn man keinen Fehler bei der Hauptorientierung der beiden Individuen macht. Diese werden hauptsächlich durch die gemeinsame Axe [110] verknüpft, und daß dieselbe in den beiden Individuen genau parallel ist, zeigt sich dadurch, daß die gefundenen und berechneten Werte von ϱ stets sehr gut übereinstimmen; nächst dem sucht eine Fläche von {001} in dem einen Individuum sich mit einer von {110} in dem anderen parallel zu stellen; hierdurch kommt aber eine Fläche von {110} im ersten Individuum in große Nähe zu einer Fläche von {001} im zweiten; beide Anziehungen sind von der gleichen Größe, und es entsteht sodann ein Kampf, der nach den Umständen darin resultieren kann, daß entweder, was das seltenste zu sein scheint, die eine Anziehung die stärkste wird, in welchem Falle wir eine Drehung von 89°52′ oder 90°8′ erhalten, oder daß keine von beiden siegt, was sich dadurch zeigt, daß die Umdrehung einen mittleren Wert erhält. In diesem Falle treten jedoch oft Störungen in der Lage der Flächen ein, indem die gegenseitige Anziehung, wenn sie auch nicht den ganzen Krystall beherrschen kann, so doch oft die einzelnen Flächen aus ihrer Lage in diesem herauszuziehen imstande ist, und hierdurch werden oft merkwürdige Abweichungen in den φ-Werten für c und m hervorgebracht. Man sieht nicht selten sehr gute Beispiele von solchen Flächen, die Goldschmidt[2]) »influencierte« nennt, und da wesentlich in der polargestellten Zone der Fall eintritt, daß die Flächen von den beiden Individuen in große Nähe zueinander kommen, wird man auch hier die größte Abweichung in ihrer Lage erwarten können; auf der anderen Seite sind die Flächen außerhalb dieser Zone in der Regel recht klein und lassen sich meistens nur mit verkleinerndem Ocular messen, wodurch ihr Wert etwas verringert wird, um so mehr als sie auch näher am Scheitelpunkt liegen. Da es solchermaßen nicht leicht zu entscheiden

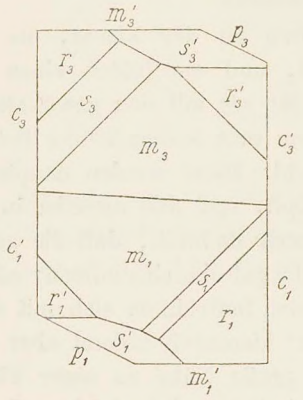
1) Diese Zeitschr. 1097, **43**, 582.
2) Diese Zeitschr. 1906, **42**, 597.

ist, welche von den beiden Klassen von Flächen am besten brauchbar ist, habe ich überall alle guten Flächen des Krystalls benutzt, um die Drehung des Zwillingsindividuums festzustellen.

b) Zwillinge nach [110].

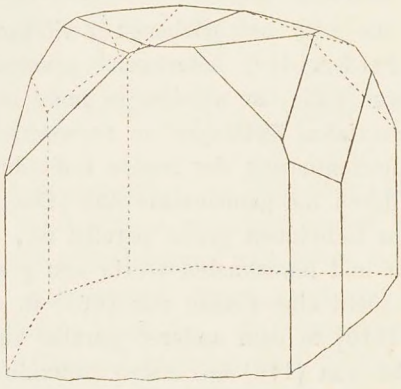
Diese sind unter den hier behandelten Krystallen bedeutend seltener als die vorigen; im folgenden sollen einige Fälle beschrieben werden.

Fig. 9.



Kryolith; primärer Zwilling nach [110].

Fig. 10.



Derselbe Krystall, wie in Fig. 9, von der rechten Seite gesehen.

Der Krystall, der in den Figuren 9 und 10 abgebildet ist, hat sehr wohlausgebildete Flächen, wie aus der nachfolgenden Tabelle hervorgeht:

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
c_1	(001)	$\bar{0}^0\ 1'$	$90^0\ 1'$	$0^0\ 0'$	$90^0\ 0'$
c_3'	(00$\bar{1}$)				
e_1'	(00$\bar{1}$)	180 0	89 59	180 0	90 0
c_3	(001)				
m_1'	($\bar{1}$10)	90 8	90 1	90 8	90 0
m_3'	($\bar{1}$10)	$\bar{8}9$ 51	89 59	$\bar{8}9$ 52	90 0
m_1	(110)	$\bar{8}6$ 20	1 57	$\bar{8}6$ 13	1 58
m_3	(110)	93 3	1 58	93 47	1 58
p_1	(1$\bar{1}$1)	116 40	89 59	116 42	90 0
p_3	(1$\bar{1}$1)	$\bar{6}3$ 19	90 1	$\bar{6}3$ 18	90 0
r_1	(011)	43 57	54 19	43 58	54 18
r_3	(011)	$\bar{1}36$ 3	54 19	$\bar{1}36$ 2	54 18
r_1'	(01$\bar{1}$)	136 2	54 19	136 2	54 18
r_3'	(01$\bar{1}$)	$\bar{4}3$ 58	54 19	$\bar{4}3$ 58	54 18
s_1	(121)	41 51	24 11	41 43	24 13
s_3	(121)	$\bar{1}38$ 16	24 12	$\bar{1}38$ 17	24 13
s_1'	($\bar{1}$21)	108 43	72 18	108 44	72 18
s_1'	($\bar{1}$21)	$\bar{7}1$ 16	72 19	$\bar{7}1$ 16	72 19

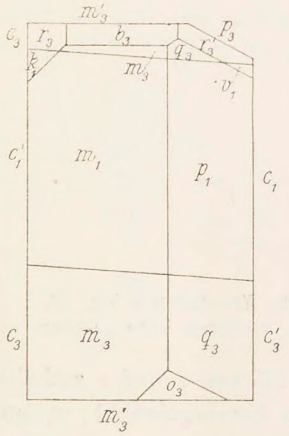
Zur Bestimmung von v_0 ist ausschließlich die sehr gute Fläche $c_1—c_3$ benutzt; mit Ausnahme von φ für (110) und den beiden Werten für s_1 stimmen die gefundenen Werte mit den berechneten mit einer Genauigkeit überein, die ganz ungewöhnlich, ja vielleicht bei anderen Krystallen nicht übertroffen ist; auch die einfachen Krystalle des hier behandelten Materials können oft eine so gute Flächenausbildung besitzen.

Die Zwillingsgrenze ist recht regelmäßig, doch nicht in so hohem Grade, wie es auf der Figur gezeichnet ist; ihr Winkel mit der Spur der c-Flächen muß derselbe wie der Wert φ für (110) sein, also 86°13′; der Winkel zwischen derselben Grenze und der Spur der senkrechten m-Flächen ist 3°45′; die Zwillingsbildung bringt, wie man erwarten kann, keinen aus- oder einspringenden Winkel auf den c-Flächen hervor, während der Winkel, der auf den m-Flächen hervorgebracht wird, der doppelte des ϱ-Wertes derselben, also 3°56′ ist.

Der hier beschriebene Krystall ist noch ganz normal ausgebildet, wie es auch mit der vorhergehenden Classe von Zwillingen der Fall war; er zeigt also nur die für das Mineral gewöhnlichen Flächen. Dies ist indessen bei den hier behandelten Zwillingen sehr selten der Fall, wie aus dem folgenden hervorgehen wird.

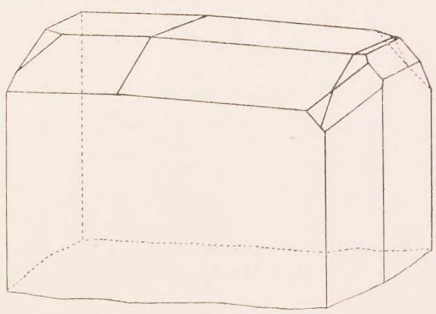
Der Krystall, der in den Figg. 11 und 12 abgebildet ist, hat, wenn man die Zwillingsgrenzen nicht berücksichtigt, ganz das Aussehen von einem

Fig. 11.



Kryolith; secundärer Zwilling nach [110].

Fig. 12.



Derselbe Krystall wie Fig. 11, von der linken Seite gesehen.

gewöhnlichen Krystall mit den Flächen m, c, p, v, a, k und s; durch die Zwillingsbildung sind aber viele von diesen Formen im Individuum 3 verändert und mit anderen, die teilweise früher nicht beobachtet wurden, ver-

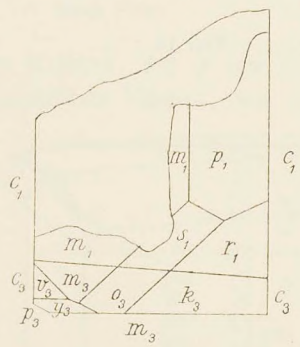
tauscht worden. Die Positionswerte dieser Formen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
q_3	$(11\bar{1})$	30°57′	26°28′	30°56′	26°33′
b_3	(010)	$\bar{8}9$ 56	44 3	$\bar{9}0$ 0	44 1
r_3'	$(01\bar{1})$	$\bar{4}3$ 54	54 21	$\bar{4}3$ 58	54 18
r_3	(011)	$\bar{1}35$ 52	54 26	$\bar{1}36$ 2	54 18
o_3	$(21\bar{1})$	47 57	26 18	48 2	26 20

Wie man sieht, stimmen die gefundenen Werte zwar nicht sehr gut mit den berechneten überein, sie genügen doch aber vollkommen, um mit Sicherheit die Symbole der Formen zu constatieren. Das Individuum 3 ist vollkommen unnormal ausgebildet, indem es einige seltene Flächen enthält; q ist wohl früher beschrieben worden, ist aber doch möglicherweise nicht sicher constatiert; b ist nur an einem ganz speciellen Typus gefunden (vergl. S. 357) und o ist überhaupt neu.

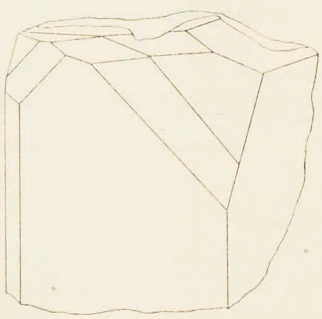
Ähnliche Verhältnisse bietet der Krystall Figg. 13 und 14 dar, nur mit dem Unterschiede, daß hier das unnormale Individuum (3) aus dem

Fig. 13.



Kryolith; secundärer Zwilling nach [110].

Fig. 14.



Derselbe Krystall wie Fig. 13, von der vorderen Seite gesehen.

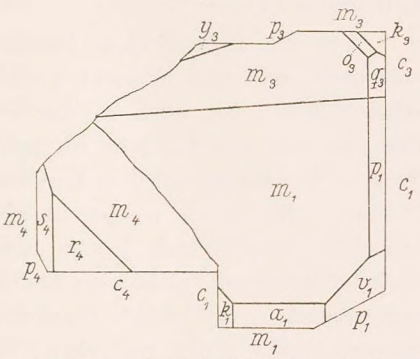
ursprünglich seitlichen Teile des Krystalles (die Flächen r und s enthaltend) gebildet wird; dadurch werden andere Formen hervorgebracht; v_1 und k

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
o_3	$(21\bar{1})$	47°48′	26°18′	48° 2′	26°20′
y_3	$(2\bar{1}1)$	108 25	72 30	108 25	72 36

werden secundär aus den ursprünglichen r-Flächen gebildet, und aus den s-Flächen gehen die neuen Formen o und y hervor; diese sind durch die Messungen auf S. 370 unten bestimmt worden.

Etwas complicierter ist der Krystall, Fig. 15, da er außer dem Hauptindividuum (1) ein primäres Individuum (4) nach dem Gesetz von Baumhauer und ein secundäres (3) nach [110] enthält; die neuen Flächen sind hier durch folgende Messungen bestimmt:

Fig. 15.

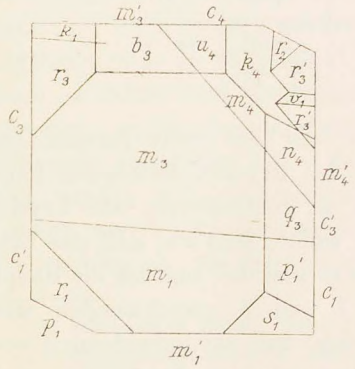


Kryolith; secundärer Zwilling nach [110] und primärer Zwilling n. Baumhauer's Gesetz.

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
o_3	$(2\bar{1}\bar{1})$	$\bar{4}7^0 59'$	$26^0 23'$	$\bar{4}8^0\ 2'$	$26^0 20'$
q_3	$(1\bar{1}\bar{1})$	$\bar{3}\ 46$	$26\ 19$	$\bar{3}\ 56$	$26\ 33$
y_3	$(2\bar{1}1)$	$\bar{1}08\ 22$	$72\ 40$	$\bar{1}08\ 25$	$72\ 36$

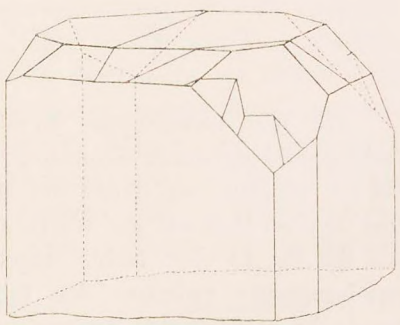
Der Krystall, der in Fig. 16 und 17 gezeichnet ist, ist sehr eigentümlich ausgebildet, indem er außer dem Hauptindividuum (1) aus einem un-

Fig. 16.



Kryolith; secundärer Zwilling nach [110] und nach Baumhauer's Gesetz.

Fig. 17.



Derselbe Krystall wie Fig. 16, von der linken Seite gesehen.

normalen (3) besteht, das mit 1 sich in Zwillingsstellung nach [110] befindet; ferner aus einem unnormalen Individuum (4), das mit den beiden

vorhergehenden einen Zwilling nach dem Gesetz von Baumhauer bildet; in den beiden unnormalen Individuen finden sich kleine Partien von 1 eingeschlossen und in 4 zugleich eine solche von 3 und von dem vierten Individuum (2).

Was die theoretischen Positionswinkel für die Individuen 2 und 4 anbelangt, muß hier bemerkt werden, daß diese beiden nach aller Wahrscheinlichkeit, wie auch 3, durch Gleitung hervorgebracht worden sind; dies läßt sich aus der sehr regelmäßigen Begrenzung der einzelnen Individuen in Verbindung mit dem Vorkommen von gerade denjenigen unnormalen Flächen, die durch solche Gleitungen hervorgebracht werden müssen, schließen; es läßt sich jedoch, wie nachher gezeigt werden soll, durch einfache Schiebung nicht eine Stellung der Flächen hervorbringen, die genau derjenigen, die durch Wachstum nach dem Gesetz von Baumhauer hervorgebracht wird, entspricht, indem die Flächen überhaupt nicht in Übereinstimmung mit dem inneren Bau der Krystalle kommen. Wie die Positionswerte der durch Schiebung hervorgebrachten Flächen berechnet werden, soll später gezeigt werden; in verschiedenen der folgenden Tabellen sind diese Werte mit φ' und ϱ' bezeichnet. Da der Unterschied zwischen diesen und den gewöhnlichen höchstens 8′ beträgt, spielt dieser Unterschied für die Bestimmung der Flächen keine Rolle, weil diese meistens von den nächstliegenden der angrenzenden Individuen durch Abstände von 1^0—2^0 getrennt sind. Die seltenen Flächen vom Individuum 4 sind durch folgende Messungen bestimmt:

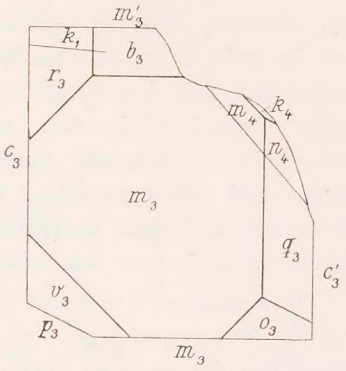
		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ'	ϱ'
a_4	(310)	0°13′	28° 9′	0°14′	28° 9′
a_4	(11$\bar{2}$)	$\bar{8}8$ 0	45 0	$\bar{8}7$ 54	44 58

Der hier beschriebene Krystall zeigte mir das erste Beispiel von Zwillingsbildung durch Schiebung, das ich bei Kryolith beobachtet habe. Als ich nämlich, um einige der Messungen zu controllieren, den Krystall zum zweiten Male auf das Wachs festsetzen wollte, fand ich, daß eine Ecke (auf der Fig. 18 oben rechts) abgebrochen war und daß zugleich die Hauptzwillingsgrenze zwischen den Individuen 1 und 3 verschwunden war. Durch die nachfolgende Messung zeigte es sich, daß das Individuum 1 verschwunden und in 3 umgewandelt war, wodurch also die Flächen auch hier unnormal geworden waren. Der Krystall nach der Änderung ist in Fig. 18 abgebildet; er ist also derselbe, welcher in Fig. 16 und 17 dargestellt ist. Die senkrecht zur Zeichnungsebene stehenden Flächen sind nicht

aus ihren früheren Lagen gerückt worden; aus der früheren Fläche s_1 ist die neue o_3 gebildet worden.

Als ich einmal gesehen hatte, daß die Zwillinge des Kryoliths sich künstlich hervorbringen lassen, suchte ich die näheren Umstände, unter welchen dies sich tun ließ, herauszufinden, und es zeigte sich dann, daß es nicht möglich war, dies durch Druck allein zu erreichen, obgleich ich sowohl die Richtung als die Stärke des Druckes soviel wie möglich variierte. Wenn ich dann versuchte, ungefähr dieselben Bedingungen wie bei dem oben erwähnten Falle einzuführen und also Krystalle, die schon vorher Zwillinge nach [110] waren, zerbrach, zeigte es sich, daß die Zwillingsgrenze in einigen Fällen verschoben wurde oder gänzlich verschwand. Da ich nur ein ziemlich sparsames Material von diesen Zwillingen besaß, ließ sich dieser Versuch nicht weiter treiben; da aber Mügge[1]) schon früher gezeigt hatte, daß es möglich ist, bei höheren Temperaturen Zwillinge im Kryolith zu bilden, versuchte ich dieselbe Methode hier anzuwenden; das Resultat dieser Versuche wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

Fig. 18.



Derselbe Krystall wie Fig. 16 nach einer zufällig eingetretenen Änderung.

c) Zwillingsbildung durch Erwärmung. Neues Gesetz[2]).

Daß der Kryolith durch Erhitzung auf eine Temperatur, die unterhalb des Schmelzpunktes liegt, regulär wird, ist erst kürzlich von Mügge[3]) und Nacken[4]) nachgewiesen worden; der letztere bestimmt näher die Umwandlungstemperatur zu 553°—564°. Mügge hatte jedoch, wie oben erwähnt, schon im Jahre 1884 Zwillingsbildung durch Erwärmung am Kryolith beschrieben; es ist aber unmöglich, zu constatieren, welche Zwillingsgesetze er damals beobachtet hat. Erstens beschreibt Mügge, wie nachher gezeigt werden soll, wahrscheinlich die Zwillingsgesetze in dem körnigen Kryolith vor der Erwärmung unrichtig; zweitens geht es nicht genügend klar hervor, ob die Erwärmung bis zu einer höheren oder niedrigeren

1) Jahrbuch d. Hamb. Wiss. Anstalten 1884, 65. Ausz. diese Zeitschr. **11**, 167.

2) Dieser Name wird im folgenden stets für die hier beschriebene Zwillingsbildung, für welche es sonst nicht leicht ist einen kurzen Namen zu finden, gebraucht. Das ebenfalls neue Zwillingsgesetz, das späterhin beschrieben werden soll, wird dagegen am einfachsten durch den Namen: Zwilling nach [11$\bar{1}$] gekennzeichnet.

3) Centralblatt f. Min. 1908, 34. Ausz. diese Zeitschr. **49**, 413.

4) Centralblatt f. Min. 1908, 38. Ausz. diese Zeitschr. **49**, 413.

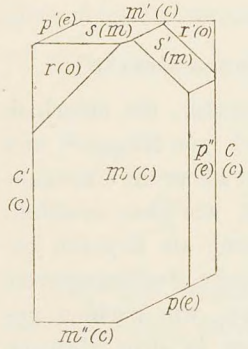
Temperatur als die obengenannte geführt wurde. Die Temperatur wurde dadurch bestimmt, daß ein Stück Zink, das neben dem Krystalle lag, gerade geschmolzen war; da das Zink bei 423° schmilzt, sollte man also am ehesten glauben, daß die Umwandlungstemperatur nicht überschritten war. Auf der anderen Seite deutet die Beschreibung der Zwillingsbildungen jedoch darauf hin, daß dies wirklich der Fall gewesen ist, denn dann wird, wie unten erwähnt werden soll, ein sehr compliciertes System von Lamellen hervorgebracht, während durch geringere Erwärmung nur verhältnismäßig wenige und sehr regelmäßige Lamellen gebildet werden. Verhältnisse, die direct mit denjenigen übereinstimmen, die in den Figuren 3—5 bei Mügge abgebildet sind, habe ich nicht beobachtet.

Baumhauer[1]) erwähnt ebenfalls Zwillingslamellen, durch Erwärmung von Kryolithkrystallen hervorgebracht, versucht aber nicht, eine nähere Beschreibung derselben zu geben.

Meine Experimente haben folgendes Resultat gegeben:

Gleichzeitig mit dem Steigen der Temperatur nimmt die Doppelbrechung allmählich ab und verschwindet zuletzt vollkommen; nach der Abkühlung entsteht dann ein compliciertes System von Lamellen, die vollkommen unmöglich zu deuten sind; wie fein die Lamellierung ist, geht auch aus der Messung auf dem Goniometer hervor, wo es sich zeigt, daß die Flächen einen einigermaßen einfachen Reflex geben, welcher mit genügender Genauigkeit auf dem Platz der regulären Flächen liegt; die monoklinen Einzelstücke der Flächen sind also so klein, daß sie sich einzeln nicht geltend machen können; die Ungenauigkeiten in den regulären Werten rühren davon her, daß die monoklinen Lamellen der verschiedenen Individuen nicht in genau solchen Mengen existieren, daß sie einander compensieren können.

Fig. 19.



Kryolith, der bis über die Umwandlungstemperatur erwärmt worden ist.

Als Beispiel eines solchen erwärmten Krystalls kann Fig. 19 erwähnt werden; sowohl in der Figur als in der folgenden Winkeltabelle (S. 375) werden die regulären Flächen durch eine Parenthese um den Buchstaben bezeichnet.

Die regulären Formen, die sich hier finden, sind: der Würfel (*c*) {001}, der Pyramidenwürfel (*e*) {210}, das Oktaëder (*o*) {111} und das Ikositetraëder (*m*) {311}; außer diesen Flächen kann durch die für Kryolith gewöhnlichen Formen nur noch das Rhombendodekaëder hervorgebracht

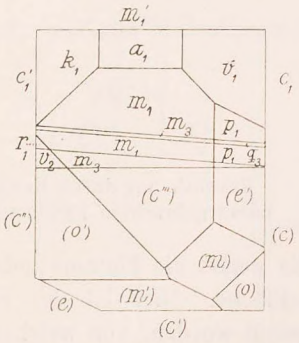
1) Diese Zeitschr. 1886, **11**, 170.

			Gefunden		Berechnet	
			φ	ϱ	φ	ϱ
c	(001)	(c)	0° 0′	90° 0′	0° 0′	90° 0′
c'	$(00\bar{1})$	(c)	179 59	90 7	180 0	90 0
m'	$(\bar{1}10)$	(c)	$\bar{8}9$ 51	90 0	$\bar{9}0$ 0	90 0
m''	(110)	(c)	90 2	89 54	90 0	90 0
m	$(1\bar{1}0)$	(c)	$\bar{7}6$ 10	0 13	—	0 0
p	(111)	(e)	63 41	90 6	63 26	90 0
p'	$(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$	(e)	$\bar{1}16$ 31	89 53	$\bar{1}16$ 34	90 0
p''	$(1\bar{1}\bar{1})$	(e)	0 1	26 32	0 0	26 34
r	$(0\bar{1}\bar{1})$	(o)	$\bar{1}35$ 2	54 21	$\bar{1}35$ 0	54 44
r'	$(01\bar{1})$	(o)	$\bar{4}4$ 56	54 33	$\bar{4}5$ 0	54 44
s	$(\bar{1}2\bar{1})$	(m)	$\bar{1}08$ 30	72 35	$\bar{1}08$ 26	72 27
s'	$(12\bar{1})$	(m)	$\bar{4}4$ 56	24 55	$\bar{4}5$ 0	25 14

werden, nämlich wenn die Fläche $a\{100\}$ ursprünglich vorhanden ist. Die Übereinstimmung in der obenstehenden Tabelle ist zwar nicht sehr groß, die gefundenen Werte stimmen jedoch viel besser mit den regulären als mit den ursprünglichen monoklinen überein.

Wenn die Krystalle nur so weit erwärmt werden, daß die Doppelbrechung nicht ganz verschwindet, wird man in der Regel sehen, daß sich nur verhältnismäßig wenige, ganz regelmäßige Lamellen bilden, die nach der Abkühlung nicht verschwinden. Hierdurch können mehrere interessante Fälle eintreten; es scheint, daß es durchgehends einigen Unterschied macht, ob die Erwärmung von einer Fläche von $\{110\}$ oder von einer solchen von $\{001\}$ ausgeht. Als Beispiel für den ersten Fall kann der Krystall, Fig. 20, angeführt werden; diejenige Fläche, die der Flamme zugekehrt war, ist (c'), also, wie aus dem ganzen Habitus des Krystalles hervorgehen wird, eine ursprüngliche Fläche von $\{110\}$. Hier ist die Veränderung eingetreten, daß die Hälfte des Krystalles, die am stärksten erwärmt gewesen ist, regulär geworden ist, während die andere Hälfte monoklin geblieben ist; in diesem Teil sind ein Paar Lamellen nach $[110]$ eingeschoben worden; die Grenze zwischen dem »regulären« und dem monoklinen Teile des Krystalles ist in der Wirklichkeit nicht so regelmäßig, wie in der Figur gezeichnet. Der nicht umgewandelte Teil des Krystalles (Individuum 1) gibt sehr gute Winkelwerte, die hier nicht angeführt werden sollen; Individuum 3 ist durch folgende Messungen bestimmt:

Fig. 20.



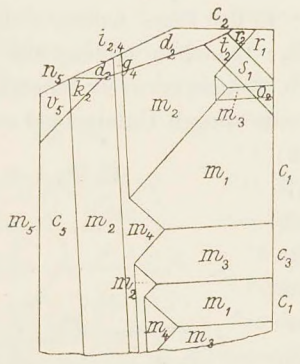
Kryolith, der teilweise bis über die Umwandlungstemperatur erwärmt worden ist.

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
m_3	(110)	95°52′	20 1′	93°53′	10°58′
q_3	(11$\bar{1}$)	3 32	26 16	3 56	26 33
v_3	(101)	134 7	55 18	135 12	55 17

Die verhältnismäßig schlechten Werte rühren wesentlich von der außerordentlichen Kleinheit der Flächen her. Wenn man mit derselben Aufstellung den »regulären« Teil des Krystalles mißt, zeigt es sich, daß die Hauptflächen (c), (c') und (c'') nicht vollkommen im Zonenverband mit den monoklinen Flächen c_1, m_1' und c_1' liegen; es scheint, daß der ganze reguläre Teil um ca. 8′ gedreht worden ist.

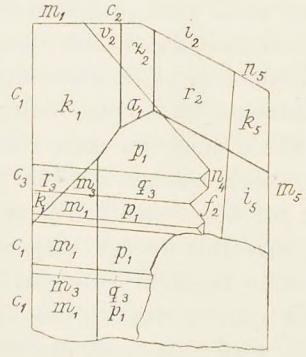
Als Beispiel eines Krystalles, an welchem eine Fläche von $c\{001\}$ am stärksten erwärmt worden ist, kann der in den Figg. 21 und 22, von zwei entgegengesetzten Seiten abgebildete, erwähnt werden. Diejenige Fläche,

Fig. 21.



Kryolith mit durch Erwärmung hervorgebrachten Zwillingslamellen.

Fig. 22.



Derselbe Krystall wie Fig. 21, von der entgegengesetzten Seite gesehen.

die gegen die Flamme gekehrt worden ist, ist m_5, also eine ursprüngliche c-Fläche. Hier ist der ursprünglich einfache Krystall in fünf Individuen geteilt worden, von welchen die vier ersten (1—4) vollkommen den früher gebrauchten Nummern entsprechen, während das fünfte eine neue Zwillingsbildung repräsentiert. Man sieht, daß die Zwillingsgrenzen in beiden Figuren einigermaßen übereinstimmen; die vorhandenen Unterschiede beweisen, daß die Grenzen durch die Mitte des Krystalls nicht ganz regelmäßig verlaufen. Von den verschiedenen Individuen repräsentiert Nr. 1 den ursprünglichen Krystall; Nr. 3 bildet mit diesem einen Zwilling nach [110]; die Individuen 2 und 4 müssen etwas näher besprochen werden, da sie mit den beiden vorigen in Zwillingsstellung nach dem Gesetze von

Baumhauer stehen, und wir also hier das erste Beispiel davon haben, daß diese Zwillingsbildung secundär hervorgebracht ist; ja es ist überhaupt das erste Mal, daß ein heteroaxialer Zwilling solchermaßen gebildet wurde. In dem Krystall, Fig. 15, war wohl dieselbe Zwillingsbildung mit solchen unnormalen Flächen verbunden, daß man annehmen konnte, sie sei secundär gebildet; das Vorkommen der genannten Flächen könnte jedoch möglicherweise dadurch erklärt werden, daß sie von den angrenzenden Flächen des Individuums 3 induciert wären. In der nachfolgenden Tabelle werden die früher besprochenen Werte φ' und ϱ' angewendet, die für den Fall, daß der Zwilling nach Baumhauer's Gesetz secundär gebildet ist, berechnet sind. Die wohlausgebildeten Flächen der Individuen 2 und 4 geben folgende Werte:

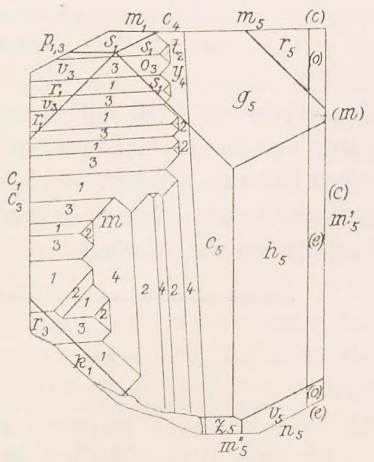
			Gefunden		Berechnet	
			φ	ϱ	φ'	ϱ'
Fig. 20	c_2	$(1\bar{1}0)$	$\bar{9}0^0\,17'$	$90^0\ 0'$	$\bar{9}0^0\ 8'$	$90^0\ 0'$
	d_2	$(10\bar{3})$	$\bar{1}09\ 10$	$72\ 30$	$\bar{1}09\ 10$	$72\ 31$
	k_2	$(10\bar{1})$	$\bar{1}36\ 6$	$55\ 6$	$\bar{1}36\ 7$	$55\ 14$
	m_2	$(1\bar{1}0)$	$177\ 38$	$1\ 59$	$176\ 10$	$1\ 58$
	m_4	$(1\bar{1}0)$	$\bar{4}\ 20$	$1\ 57$	$\bar{3}\ 50$	$1\ 58$
Fig. 21	f_2	(130)	$\bar{0}\ 23$	$24\ 56$	$\bar{0}\ 17$	$25\ 0$
	r_2	(011)	$\bar{4}5\ 58$	$54\ 19$	$\bar{4}5\ 48$	$54\ 22$
	x_2	(112)	$\bar{9}1\ 47$	$45\ 8$	$\bar{9}1\ 50$	$45\ 6$

Die Messungen sind vollkommen genügend, um das Zwillingsgesetz sicher zu constatieren, was sich übrigens auch leicht durch die optischen Verhältnisse tun läßt.

Da das Individuum 5 an diesem Krystall recht unvollkommen ausgebildet ist, werde ich das dazu gehörige Zwillingsgesetz hier nicht näher beschreiben. Die Fläche m_5 ist hier, was bei dem nächsten Krystall nicht der Fall ist, genau Gegenfläche zu c_1.

Diejenigen Phänomene, die die verschiedenen Krystalle bei der Erwärmung darbieten, sind in den meisten Fällen recht gleichartig. Wenn man den hier beschriebenen Krystall mit demjenigen von Fig. 23 vergleicht, sieht man eine große Ähnlichkeit im Aufbau, und dasselbe

Fig. 23.



Kryolith mit durch Erwärmung hervorgebrachten Zwillingslamellen.

ist mit den anderen Krystallen, die auf dieselbe Weise erwärmt sind, der Fall. Der Krystall, Fig. 23, hat an der am stärksten erwärmten Seite eine »reguläre« Partie; der am nächsten dabei liegende Teil gehört dem Individuum 5 an; an dieses grenzt nur Nr. 4, also wie früher ein Teil des Krystalles, der durch Zwillingsbildung nach Baumhauer's Gesetz gebildet ist. Dieser wechselt einige Male mit Nr. 2 ab, und erst an der am wenigsten erwärmten Seite des Krystalles sieht man das ursprüngliche Individuum 1 mit 3 abwechselnd in Zwillingsstellung nach [110].

Für die Untersuchung der vorliegenden Zwillingsgesetze spielt die Reihenfolge, in welcher die verschiedenen Grenzen entstanden sind, eine Rolle. Nach der unmittelbaren Beobachtung scheint es, daß sie alle auf einmal gebildet werden, und wenn wirklich das ursprüngliche Individuum 1 unmittelbar in 5 übergehen kann, wird es sehr schwierig sein, das Gesetz zu bestimmen, da die beiden Individuen nicht direct aneinander stoßen. Es ist jedoch wohl das wahrscheinlichste, daß der ursprüngliche Krystall sich erst in die Individuen 1—4 teilt und daß erst dann Nr. 5 aus 4 hervorgeht. In allen Fällen grenzt das Individuum 5 nur an 4 oder 2 und diese Grenze repräsentiert eine Zwillingsbildung, die auch in anderen Fällen, wo sie nicht mit Zwillingen nach Baumhauer's Gesetz combiniert ist, und wo also jede Verwechslung ausgeschlossen ist, vorkommt.

Für die Individuen 1—4 sollen die einzelnen Messungen nicht aufgeführt werden; sie stimmen gewöhnlich recht gut. Die seltene Fläche y_4 hat folgende Werte gegeben:

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ'	ϱ'
y_4	$(\bar{2}11)$	$\bar{4}2^0 30'$	$26^0 35'$	$\bar{4}2^0 26'$	$26^0 27'$

Individuum 5 ist mit 4 solchermaßen verbunden, daß eine m-Fläche beider beinahe vollkommen (im vorigen Falle ganz genau) zusammenfällt; ferner fällt eine c-Fläche von 5 beinahe mit einer m-Fläche von 4 zusammen und umgekehrt. Mit der früher gebrauchten Aufstellung ist die Lage der Hauptflächen die folgende:

		Gefunden				Gefunden	
		φ	ϱ			φ	ϱ
c_5	(001)	$\bar{6}3^0 25'$	$0^0 16'$	m_5'	(110)	$\bar{0}^0 9'$	$90^0 2'$
m_5	$(\bar{1}10)$	$\bar{9}2 7$	$90 7$	m_5''	$(1\bar{1}0)$	$87 51$	$89 55$

Man wird sehen, daß die Flächen m_5 und m_5'' außerhalb der verticalen Zone fallen, was übrigens auch dadurch unmittelbar sichtbar ist, daß die Grenze zwischen m_5 und c_4 schräg verläuft.

Das vorliegende Zwillingsgesetz, das durch Fig. 27 anschaulich gemacht ist, läßt sich folgendermaßen formulieren: Zwillingsaxe ist die Normale einer Fläche von {110}, Umdrehung beinahe 90°. Die Zwillingsbildung steht, wie man sieht, dem Baumhauer'schen Gesetz recht nahe und ist wie dieses typisch heteroaxial; die Verwachsungsflächen sind aber in den beiden Fällen recht verschieden (vergl. Fig. 26 und 27), aus welchem Grunde die Zwillinge auch einen ganz verschiedenartigen Habitus bekommen. Es soll später gezeigt werden, daß dieses Zwillingsgesetz eine sehr große Rolle spielt, namentlich in dem Aufbau des großkörnigen Kryoliths.

Es wurde oben gesagt, daß die Drehung des Zwillingsindividuums beinahe 90° sei; hier können indessen, wie bei dem Baumhauer'schen Gesetz, mehrere Fälle vorkommen. Bei diesem Gesetz war eine Kantenrichtung [110] für die beiden Individuen gemeinsam, und diese suchten sich so einzustellen, daß eine m-Fläche des einen mit einer c-Fläche des zweiten parallel war, was durch eine Drehung von 89° 52′ oder 90° 8′ erreicht wurde; diese beiden Fälle kamen meistens miteinander in Conflict, woraus eine Drehung um einen zwischenliegenden Wert resultierte. Hier ist eine Flächenstellung {110} für beide Individuen gemeinsam, und man könnte annehmen, daß diese Ebenen sich so einstellen würden, daß eine Kantenrichtung $c : m =$ [110] des einen Individuums mit einer solchen $m : m =$ [001] des zweiten zusammenfiele, was nach einer Drehung von 89° 52′ 46″ oder 90° 7′ 14″ eintreffen würde. In diesem Falle würde die Zwillingsgrenze auf der einen Seite des Krystalls parallel der äußeren Begrenzung desselben verlaufen und auf der anderen Seite um ca. 7° davon abweichen. Indessen scheint dies bei den hier behandelten Krystallen nicht der Fall zu sein; die Größe der Drehung ist, soweit man sehen kann, stets eine solche, daß die Zwillingsgrenzen auf beiden Seiten genau denselben Winkel mit den Kanten des Krystalls bilden, wie es in Fig. 27 veranschaulicht ist, wo die Kante $m : \bar{c}$ mit $\bar{c} : \bar{m}$, wie auch $c : \bar{m}$ mit $\bar{m} : \bar{m}$ einen Winkel von 3° 45′ bildet. Dies wird nach einer Drehung von 89° 59′ 29″ erreicht, und es trifft dann hier das merkwürdige Verhältnis ein, daß die Zwillingsgrenzen mit denjenigen nach [110] vollkommen parallel werden.

Die hier beschriebene Zwillingsbildung findet sich niemals unter solchen Umständen, daß man annehmen kann, sie sei durch Wachstum der Krystalle hervorgebracht; wenn sie in den natürlichen Krystallen auftritt, zeigt sie sich in dünnen Lamellen, die ganz wie die künstlich hervorgebrachten aussehen und die wahrscheinlicherweise auch durch Gleitung bei höherer Temperatur hervorgebracht sind; direct ließe dieses sich nur be-

weisen, wenn man constatieren könnte, daß die Zwillingsbildung von dem Auftreten unnormaler Flächen begleitet wäre; ich habe aber niemals diese Lamellen in natürlichen Krystallen bis zu der Außenfläche hinausreichend gefunden.

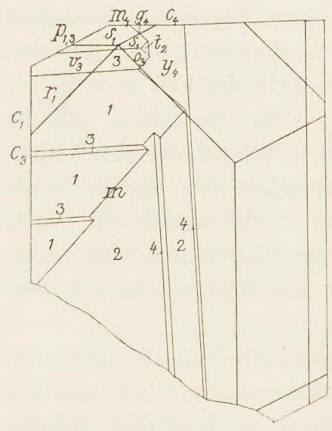
Nach dem neuen Gesetz werden durch Gleitung, wie man erwarten konnte, viele »unnormale« Flächen auf den Krystallen hervorgebracht; in den Figg. 21—22 wurden von solchen $n\{310\}$ und $i\{\bar{1}14\}$ abgebildet; an dem Krystall Fig. 23 ist das Individuum 5 so wohl ausgebildet, daß es gesondert aufgestellt worden ist mit der für einen monoklinen Krystall normalen Aufstellung; für die selteneren Flächen wurden folgende Werte gefunden:

		Gefunden		Berechnet	
		φ	ϱ	φ	ϱ
n_5	$(3\bar{1}0)$	107°47′	90° 4′	107°51′	90° 0′
g_5	(013)	0 22	24 50	0 24	24 50
h_5	(114)	46 5	26 34	46 14	26 39
x_5	$(1\bar{1}2)$	136 2	45 5	136 7	45 2

Wie man sieht, stimmen die Werte so gut, daß die richtige Aufstellung des Krystalls ganz sichergestellt ist, was sich übrigens auch ganz leicht durch die optischen Verhältnisse constatieren läßt.

Während des Arbeitens mit diesem Krystall trat derselbe Fall ein, welcher auf S. 372 beschrieben ist: eine Ecke des Krystalls fiel ab, und gleichzeitig geschahen sehr große Änderungen in der Verteilung der Zwillingsgrenzen zwischen den Individuen 1—4. Das Aussehen des Krystalls nach der Änderung ist in Fig. 24 gezeigt, und man wird sehen, daß die Structur dadurch viel einfacher geworden ist, daß viele Grenzen verschwunden sind; andere haben sich von ihrem ursprünglichen Platz verschoben, wodurch die seltene Fläche $g\{013\}$ hervorgebracht worden ist.

Fig. 24.



Derselbe Krystall wie Fig. 23 nach einer zufällig eingetretenen Änderung.

Im vorhergehenden habe ich nur diejenigen Änderungen beschrieben, die durch Erwärmen der kleinen, von Flink gesammelten Krystalle hervorgebracht werden. Wenn man mit den gewöhnlichen größeren Krystallen experimentiert, gestalten sich die Verhältnisse etwas anders; doch werden

niemals andere Gesetze als die drei besprochenen hervorgebracht. Ein sehr gewöhnlicher Fall ist der, daß eine Masse Lamellen nach [110] und nach dem neuen Gesetz sich bilden, regelmäßig miteinander alternierend; übrigens sind die meisten Krystalle nicht mit so guten Flächen versehen, daß sich die hervorgehenden Zwillingsbildungen mit Sicherheit durch Messung constatieren lassen.

d) Die Deformationen des Kryoliths.

Die drei vorher beschriebenen Zwillingsbildungen können, wie nachgewiesen wurde, alle secundär gebildet werden; die Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz und nach [110] werden am besten durch Erwärmung hervorgebracht, können jedoch aber auch, obgleich mit größerer Schwierigkeit, bei gewöhnlicher Temperatur gebildet werden; beide entstehen auch ganz sicher beim Wachstum der Krystalle. Die neue Zwillingsbildung wird dagegen nur bei hoher Temperatur hervorgebracht und scheint überhaupt niemals primär zu sein. Von den nachher zu erwähnenden sechs anderen Zwillingsgesetzen beim Kryolith kann nicht sicher festgestellt werden, ob sie durch Gleitung gebildet werden, und sie sollen daher hier nicht besprochen werden.

Die secundäre Entstehung eines heteroaxialen Zwillings ist niemals früher beschrieben worden, und theoretisch macht dieses Phänomen ganz ungewöhnliche Schwierigkeiten; auf der einen Seite ist es nämlich sicher, daß eine heteroaxiale Zwillingslage niemals durch Gleitung genau erreicht werden kann; auf der anderen Seite ist es ebenso sicher, daß der Kryolith secundäre Zwillingsbildungen besitzt, welche sich in äußerer Form und auch in optischer Beziehung beinahe vollkommen wie die nach den beiden heteroaxialen Gesetzen verhalten. Wie diese Annäherung, nach dem, was die Beobachtung zeigen kann, erreicht wird, soll im folgenden erklärt werden.

Ich werde hier nur kurz die von Mügge[1]) eingeführten Symbole für die Elemente der Schiebung in Erinnerung bringen:

k_1 = erste Kreisschnittebene, die Gleitfläche;

k_2 = zweite Kreisschnittebene, die einzige Fläche außer k_1, die keine Verzerrung erleidet, und diejenige, die die größte Verschiebung erfährt;

σ_1 = die Gleitungsaxe;

σ_2 = Richtung der Grundzone, die einzige Axe außer σ_1, die keine Verzerrung erleidet, wogegen sie am meisten verschoben wird.

Um ein Maß für die Schiebung zu geben, werden gewöhnlich die von Liebisch[2]) eingeführten Größen, σ = Verhältnis der Schiebung und s =

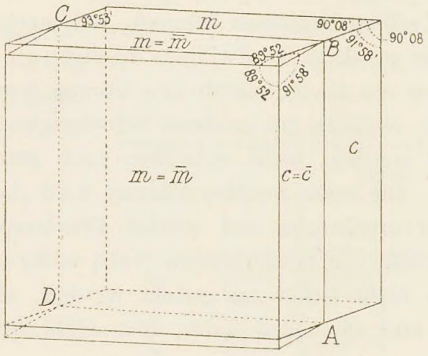
---

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1889, Beil.-Bd. **6**, 286. Ausz. diese Zeitschr. **19**, 502.

2) N. Jahrb. f. Min. usw. 1889, Beil.-Bd. **6**, 105. Ausz. diese Zeitschr. **17**, 305.

Größe der Schiebung, gebraucht. Dies ist sehr zu bedauern, da diese beiden Größen sehr wenig anschaulich sind; man muß jedesmal nachdenken, ob die Schiebung überhaupt groß oder klein ist. Ich werde daher nur den Winkel der Schiebung, d. i. der Winkel zwischen k_2 (und σ_2) vor und nach der Schiebung, brauchen; dieser ist von Liebisch mit $2V$ bezeichnet worden.

Fig. 25.



Kryolith; schematisches Bild der secundären Zwillingsbildung nach [110].

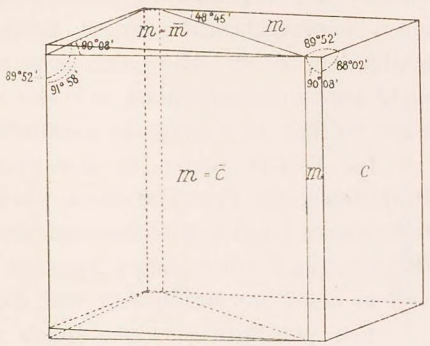
1. Zwillinge nach [110]; die betreffende Deformation, die nichts Sonderbares darbietet, ist in Fig. 25 dargestellt. k_1 ist irrational = Ebene $ABCD$, deren Kante mit c parallel der Begrenzung des Krystalls ist, während diejenige mit m davon um $3^0 45'$ abweicht. k_2 ist rational; es ist die obenliegende m-Fläche. σ_2 liegt in dieser Fläche, ist aber irrational; dagegen ist σ_1, die senkrecht stehende Axe $c : m$, rational. Der Winkel $2V$ ist $3^0 56'$.

Die Umformung der Symbole wird am leichtesten auf dem Projectionsbild Fig. 3, S. 364 gesehen, welches Bild leicht mit so vielen Flächen, wie man wünscht, ergänzt werden kann. Man wird sehen, daß jede Fläche des Individuums 1 durch die Schiebung mit der in dem betreffenden kleinen Quadrat gegenüberliegenden des Individuums 3 vertauscht wird. Die einzigen Flächen, die ihre Symbole behalten, sind alle in der senkrechten Zone liegenden, und zunächst die Fläche von m, welche dem Mittelpunkt am nächsten liegt. Das Projectionsbild zeigt ferner, daß alle Flächenpunkte des Individuums 3 in derselben Richtung und demselben Abstand von den entsprechenden des Individuums 1 gestellt sind. Hieraus kann man die folgende allgemeine Regel, die sich übrigens auch theoretisch beweisen läßt, ableiten: in einem gnomonischen Projectionsbilde eines deformierten Krystalls, in welchem die Projectionsaxe $= \sigma$ ist, werden alle Flächenpunkte bei der Deformation in derselben Richtung und um dieselbe Strecke verschoben. Hierdurch erhält man ein Mittel, die neue Position der Flächen auszurechnen, was sich in diesem Falle übrigens viel leichter ausführen läßt, wenn man bedenkt, daß die ϱ-Werte unverändert bleiben und die neuen φ-Werte nur von den alten um 180^0 abweichen. Bei der nächsten Deformation wird die obenstehende Regel dagegen für die Ausrechnung notwendig sein.

2. Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz. Da diese, wie vorher gezeigt, sich nicht vollkommen bestimmen lassen, wird es auch nicht mög-

lich sein, die Elemente ganz genau festzustellen; selbst wenn man die gegenseitige Lage der Individuen kennt ist ja keine Schiebung imstande eine solche Zwillingsbildung hervorzubringen. Die in Fig. 26 gegebene Deutung stimmt am besten mit den Beobachtungen überein; doch gibt es auch andere Möglichkeiten, die nachher angedeutet werden sollen.

Fig. 26.



Kryolith; schematisches Bild der secundären Zwillingsbildung nach Baumhauer's Gesetz.

Die am meisten auffallende Tatsache bei dieser Deformation ist, daß die senkrechten Flächen von c und m ihre Lage anscheinend nicht ändern. Daher bleibt auch der Winkel zwischen diesen Flächen unverändert, während er zufolge der Formulierung des Gesetzes sich stets von $89^0\,52'$ zu $90^0\,8'$ oder umgekehrt ändern muß, was auch leicht nachgewiesen werden kann, wenn die Zwillinge durch Wachstum gebildet sind. Aus dem Umstand, daß die erwähnten Flächen von m und c ihre Lage nicht ändern, kann man schließen, daß die Axe σ_1 parallel der Axe [110] sein muß. Die Gleitfläche, k_1, kann nicht genau bestimmt werden; es scheint, daß ihre Spur auf der oberen m-Fläche einen Winkel von 45^0 mit derjenigen, die bei Zwillingsbildung nach [110] hervorgebracht wird, bildet, wie es auch in Fig. 26 gezeichnet ist. Dieselbe Grenze wird gebildet, wenn der Zwilling durch eine Drehung von 90^0 hervorgebracht wird; es soll später gezeigt werden, daß sie auch aus theoretischen Gründen die wahrscheinlichste ist. k_1 ist also irrational, was auch mit k_2 der Fall ist; diese Fläche fällt nämlich nicht mit m zusammen, sondern bildet damit einen Winkel von $1^0\,23\frac{1}{2}'$. σ_2 liegt in m, wird aber auch irrational; die Fläche k_2 ist also das einzige rationale von den Bestimmungselementen. $2V$ ist ganz unbedeutend größer als der Winkel $m : \bar{m}$, der $2^0\,47'$ ist.

Wenn man die Winkelwerte, die in dem deformierten Teile des Krystalls in Fig. 26 eingezeichnet sind, betrachtet, sieht man, daß eine Ecke existiert, die von den drei Winkeln $91^0\,58'$, $90^0\,8'$ und $89^0\,52'$ begrenzt ist; eine solche findet sich nicht an dem undeformierten Krystalle, wo der stumpfe Winkel auf {001} stets mit zwei gleichartigen Winkeln auf den Flächen von {110} zusammenstoßen muß. Der deformierte Krystall hat also eine Flächenbegrenzung bekommen, die nicht mit dem inneren Bau übereinstimmt. Wie es überhaupt möglich ist, daß die Substanz eine solche Deformation erleiden kann, läßt sich nicht denken; die optische Untersuchung zeigt jedenfalls, daß der deformierte Krystall sich ganz so

verhält, als ob die sämtlichen Molekülnetze wirklich um 90^0 um die senkrechte Axe gedreht wären; hierbei müssen aber die spitzen und stumpfen Winkel zwischen den Kanten der Elementarparallelepipede miteinander vertauscht werden, und da ein solcher Umtausch nicht durch die Gleitung allein hervorgebracht werden kann, müssen compliciertere Bewegungen stattfinden, deren Natur sich sehr schwierig vorstellen läßt, wie es auch nicht leicht einzusehen ist, wie die verschiedenen Teile des Krystalls nach einer solchen Bewegung in gegenseitigem Zusammenhang bleiben können.

Die Veränderungen in den Symbolen der Flächen können aus dem Projectionsbilde Fig. 3 ersehen werden, wo man nur die Buchstaben von Individuum 1 mit den nächstliegenden von 2 oder 4 zu vertauschen braucht. Die einzigen Flächen, deren Symbole nicht geändert werden, sind die Fläche von m dicht am Mittelpunkt und die r-Fläche unten rechts.

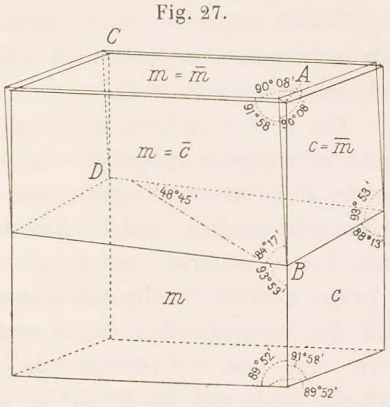
Um die Positionswinkel nach der Deformation auszurechnen, kann man die oben (S. 382) angegebene Methode benutzen; um zu bestimmen, wieweit und in welcher Richtung ein Punkt auf dem Bilde sich bewegen muß, kann man eins der kleinen Vierecke, z. B. das mittlere, betrachten. Der Umstand, daß m_1 und m_3 beide nach m_2 und m_4 durch ganz gleichartige Deformationen überführt werden können, zeigt, daß das Viereck wenigstens ein Rhombus sein muß; auf der anderen Seite stehen auch m_1 und m_3 in derselben Zwillingslage einander gegenüber wie m_2 und m_4, also müssen die beiden Diagonalen gleich sein und das Viereck ein Quadrat, wie auch alle die übrigen, wenn die Zwillinge durch die oben beschriebenen Deformationen gebildet sind. Wenn sie dagegen durch Wachstum gebildet sind, können die Vierecke nicht Quadrate werden; doch ist die Abweichung nicht so groß, daß sie auf der Zeichnung gesehen werden kann. Um die Lage der Flächen von Individuum 2 auszurechnen, wenn dieses durch Gleitung gebildet ist, verschiebt man alle Punkte von 1 in derselben Richtung und um dieselbe Strecke wie die Seite $m_1 : m_2$, die aus der Diagonale $m_1 : m_3$ berechnet werden kann. Man findet dann, daß alle x-Werte um 1,60037 mm (für den Grundkreis = 5 cm) erhöht und die y-Werte um 1,82573 mm vermindert werden müssen, und aus x und y können dann die neuen Werte für φ und ϱ ausgerechnet werden; diese sind im Vorhergehenden mit φ' und ϱ' bezeichnet worden. Überall, wo ich mit diesen Werten gerechnet habe, hat es sich gezeigt, daß sie durchgehends besser als die gewöhnlichen (in der Tabelle auf S. 363 angegebenen) φ- und ϱ-Werte mit den beobachteten übereinstimmen.

3. Das neue Zwillingsgesetz läßt sich noch schwieriger als das vorhergehende genau bestimmen, da es an den guten Krystallen nur unter solchen Umständen sich findet, daß man, wie oben erwähnt, annehmen muß, daß der betreffende Teil des Krystalls erst nach dem Gesetz von Baumhauer und dann erst nach dem hier behandelten deformiert ist.

Bei der ersten Deformation kommen jedoch schon Unregelmäßigkeiten in den Bau der Krystalle hinein, und da die Flächen in den stärker erwärmten Teilen des Krystalls niemals sehr gut ausgebildet sind, lassen sich die Verhältnisse sehr schwierig durch Messungen constatieren.

Die Deformation ist in Fig. 27 dargestellt; zur Bestimmung von k_1 dient die Beobachtung, daß die Zwillingsgrenze augenscheinlich nicht mit der Kante $c:m$, sondern mit den gleichzeitig gebildeten Grenzen nach [110] parallel ist; deren Winkel mit der Kante $c:m$ ist $3^0\,45'$, und die Gleitfläche erhält dadurch die in Fig. 27 angegebene Lage, wird also irrational. Ebenso σ_1, dessen Lage durch die in der Gleitfläche eingezeichnete schräge Linie angegeben ist; k_2 und σ_2 wurden auch irrational. $2V$ ist derselbe wie im vorigen Falle, also $2^0\,47'$. Die Veränderungen der Flächensymbole sind auch genau dieselben wie bei der vorigen Deformation.

Fig. 27.



Kryolith; schematisches Bild der secundären Zwillingsbildung nach dem neuen Gesetz.

Die Bestimmung der Positionswinkel nach der Deformation ist außerordentlich schwierig, da sie nicht nach der oben angegebenen Methode vorgenommen werden kann, ohne daß der Krystall nach der Axe σ_1, die ja irrational ist, aufgestellt und projiciert wird. Dazu kommt noch, daß die berechneten Winkel nicht näher controlliert werden können, da die Flächen ja nicht sehr gut ausgebildet sind. Ich habe darum diese Berechnung nicht vorgenommen und werde nur einige charakteristische Eigenschaften des Krystalls nach der Deformation erwähnen. Man wird unmittelbar sehen, daß, weil die Linie AB länger als CD ist, der Punkt A mehr als C verschoben werden wird; die Strecke AC wird also verkürzt, und diese Verkürzung erreicht genau einen solchen Wert, daß der Winkel auf m bei A, der vor der Deformation $89^0\,52'$ war, nach dieser $90^0\,8'$ wird; hier bleiben die Winkel des deformierten Krystalls also in guter Übereinstimmung mit dem inneren Bau des Krystalls. Gleichzeitig bringt aber der Umstand, daß AB länger als CD ist, mit sich, daß die Linie AC vor und nach der Deformation nicht vollkommen parallel mit sich selbst bleibt, daß also auch m nicht in derselben Lage bleibt. Die Änderung beträgt zwar nur $1\frac{1}{2}'$, und kann nicht durch Messung constatiert werden; doch ist sie theoretisch von großer Bedeutung, da sie zeigt, daß dieses heteroaxiale Gesetz, zu dessen Definition es gerade gehört, daß die Fläche m ihren Platz behalten muß, nicht durch Gleitung gebildet werden kann.

Da es in den meisten anderen Fällen von secundärer Zwillingsbildung sehr gewöhnlich ist, daß solche paarweise miteinander reciprok sind, soll hier noch untersucht werden, wie es in dieser Beziehung mit den hier beschriebenen Zwillingen steht. Die Zwillinge nach [110] sind ja mit denjenigen nach (110) reciprok, welches Gesetz von Krenner u. a. als sehr gewöhnlich angegeben wird, während ich es an dem grönländischen Kryolith nicht gefunden habe und, wie oben (S. 361) gezeigt ist, es dort nicht für sicher bewiesen halte.

Die beiden anderen Deformationen sind, wie sie oben dargestellt sind, nicht miteinander reciprok, was man leicht daraus ersehen kann, daß die zweite Deformation ein rationales Bestimmungsstück (σ_1) hat, während die dritte kein solches besitzt. Auf der anderen Seite sind sie jedenfalls nicht weit davon entfernt, miteinander reciprok zu sein, und es wäre wohl a priori wahrscheinlich, daß eine von denselben so geändert werden dürfte, daß die Reciprokität wirklich einträte. Um die Deformation 3 so zu ändern, muß man sich denken, daß das eine Ende von σ_1 so gehoben wird, daß die Linie mit der Fläche m parallel wird, und danach muß die Gleitfläche so gedreht werden, daß sie mit der genannten m-Fläche einen Winkel von $1^0 23\frac{1}{2}'$ bildet. Dann wird diese Deformation zu derselben unkrystallographischen Lage der Flächen wie Deformation 2 führen; die Lage der Zwillingsgrenzen würde jedoch weniger gut mit der an den erwärmten Krystallen beobachteten stimmen. Auf der anderen Seite scheint es, daß diese Grenze in dem polysynthetischen Kryolith gerade nicht mit der Zwillingsgrenze nach [110] so genau parallel ist, und es ist vielleicht aus diesem Grunde wahrscheinlich, daß die Deformation so zu orientieren ist.

Man könnte auch die Elemente der zweiten Deformation ändern; dann müßte σ_1 nicht mit der Kante [110] parallel sein, sondern um einen Winkel von ca. 5^0 um eine Axe parallel mit der Ebene der Gleitfläche gedreht werden. Man würde dann erreichen, daß der deformierte Krystall in eine richtige krystallographische Lage käme, es müßten aber dann auch ein- oder ausspringende Winkel von 8′ an den Zwillingsgrenzen gebildet werden, und daß solche sich nicht finden, läßt sich mit großer Sicherheit durch Beobachtung constatieren.

Ehe wir die Deformationen des Kryoliths verlassen, soll hier eine kurze Übersicht über die durch dieselben hervorgebrachten secundären Flächen gegeben werden. Trotzdem es keinen wesentlichen Unterschied macht, ob solche Flächen durch Deformation in der Natur oder künstlich hervorgebracht sind, gibt doch der Umstand, daß sie beim Kryolith so oft auf die erstgenannte Weise gefunden werden, diesen Flächen ein erhöhtes Interesse. Da alle Gleitungen beim Kryolith so beschaffen sind, daß sie die Zugehörigkeit der Flächen zu irgendeiner regulären Form nicht stören,

ist es natürlich, die Formen direct unter den entsprechenden regulären einzuordnen, und wir finden dann hauptsächlich die folgenden »regulären« Formen repräsentiert:

Der Würfel wird von den beiden Hauptformen $c\{001\}$ und $\{110\}$ repräsentiert, die durch die verschiedenen Deformationen ineinander übergehen können.

Das Oktaëder wird von $v\{101\}$, $k\{\bar{1}01\}$ und $r\{011\}$ repräsentiert; diese sind sämtlich gewöhnliche Flächen, die auch ineinander übergehen können.

Das Rhombendodekaëder wird an den meisten Krystallen nur von $a\{100\}$ repräsentiert; doch finden sich auch alle ergänzenden Formen, nämlich $b\{010\}$, $x\{112\}$ und $u\{11\bar{2}\}$ primär gebildet; sie gehen natürlich alle durch Gleitungen ineinander über.

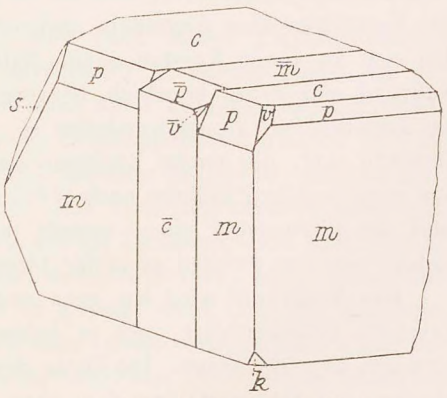
Der Pyramidenwürfel $\{210\}$ enthält von primären Flächen nur $p\{111\}$; aus dieser werden secundär alle die übrigen ergänzenden Formen gebildet, nämlich: $q\{\bar{1}11\}$, $n\{310\}$, $f\{130\}$, $k\{114\}$ und $i\{\bar{1}14\}$.

Das Ikositetraëder $\{311\}$ wird von $s\{121\}$ repräsentiert; aus diesem sind $t\{\bar{1}21\}$, $g\{211\}$, $o\{\bar{2}11\}$ und $d\{\bar{1}03\}$ hervorgegangen, während die übrigen Formen $\{103\}$ und $\{013\}$ noch nicht gefunden worden sind.

e) Zwillinge nach $[\bar{1}11]$.

Bei der Durchsicht der früher (S. 355) beschriebenen flächenreichen Krystalle von 1908 fand ich einen mit Zwillingslamellen, die beim ersten Anblick denjenigen nach dem neuen Gesetz sehr ähnlich waren, indem sie von aus- und einspringenden Winkeln längs der Grenze im ganzen Umkreis des Krystalls begleitet waren und die Grenze mit einer Fläche von m beinahe parallel war. Die Lage der vorhandenen Flächen zeigte jedoch daß dieses Gesetz nicht vorlag, sondern dagegen ein solches nach der Axe $[\bar{1}11]$ (Drehung 180°), das überhaupt nur an diesem einzigen Krystall beobachtet wurde. Da dies ein homoaxiales Gesetz ist, kann die gegenseitige Lage beider Individuen genau berechnet werden; von den Messungen, durch welche das Gesetz constatiert ist, will ich hier nur anführen, daß der Winkel $m:\bar{c}$ zu 1°50′ und $c:\bar{m}$ zu 1°51′ gemessen ist, während beide Werte theoretisch 1°50′ sein sollten.

Fig. 28.



Kryolith; Zwilling nach $[\bar{1}11]$.

Der Habitus des Krystalls wird, etwas schematisiert, durch Fig. 28 gezeigt; wie man sieht, ist die Zwillingsbildung wiederholt. Der Winkel zwischen den Kanten $m : \bar{c}$ und $m : m$ ist $3^0 8'$.

Im Gegensatz zu den drei anderen Gesetzen ist dieses ganz sicher nicht durch Gleitung hervorgebracht, und es ist auch nicht gelungen, es durch Erwärmung zu producieren, wie es auch nicht in dem körnigen Kryolith gefunden worden ist. Theoretisch hat es großes Interesse, da man es a priori erwarten müßte, wie auch das sehr naheliegende nach [111], als reciproke Zwillingsbildungen mit den im körnigen Kryolith vorkommenden nach $\{11\bar{2}\}$ und $\{112\}$.

Viel größere Bedeutung hat jedoch dieses Gesetz, wie nachher gezeigt werden soll, für das Verständnis der mit Kryolith einigermaßen analog gebauten Mineralien Perowskit und Boracit; hier ist es das am meisten hervortretende aller Gesetze, und die mangelnde Kenntnis desselben hat früher die Deutung der Structur dieser Mineralien unmöglich gemacht.

Im ganzen besitzen also die Kryolithkrystalle vier Zwillingsgesetze, von welchen die zwei gewöhnlichsten heteroaxial sind und die zwei anderen zwar homoaxial, jedoch ohne rationale Zwillingsebene. In dem körnigen Kryolith kommen dagegen auch solche mit rationaler Zwillingsebene vor. Daß diese in den Krystallen fehlen, ist ein sehr auffallendes Phänomen, das sich wohl gar nicht erklären läßt.

5. Bau der gewöhnlichen Kryolithkrystalle.

Im vorhergehenden sind beinahe ausschließlich die ganz kleinen, von Flink gesammelten Krystalle behandelt worden; diese waren nämlich so ausgezeichnet ausgebildet, daß sie als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Zwillingsgesetze besonders geeignet waren. Wie gezeigt wurde, fanden sich an diesen Krystallen von Natur aus nur zwei Zwillingsbildungen, während eine dritte künstlich hervorgebracht wurde. Rein statistisch ist das Verhältnis in diesen Krystallen so, daß beinahe die eine Hälfte Einzelkrystalle sind, die zweite Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz, während nur ganz wenige Zwillinge nach [110] sind; von der ersten Sorte Zwillinge sind die allermeisten sicher primär (eine Ausnahme ist in Fig. 16 abgebildet), von der zweiten secundär (Ausnahme: Fig. 9).

Das Verhältnis wird ein ganz anderes, wenn man die gewöhnlichen Krystalle berücksichtigt, die ja bekanntlich in paralleler Lage auf dem körnigen Kryolith sitzen. Die Form derselben ist von Krenner beschrieben worden; im Gegensatz zu den oben beschriebenen Krystallen sind die Flächen c und m hier in hohem Grade dominierend über die übrigen Formen. Im folgenden soll nur das Vorkommen der verschiedenen Zwillinge an diesen Krystallen untersucht werden.

Bei Durchsicht von sehr vielen Krystallen und Schliffen aus solchen ist es mir niemals gelungen, andere als die drei obenerwähnten Zwillingsbildungen zu constatieren; doch muß hier hervorgehoben werden, daß im Innern der größeren Krystalle eine Structur herrscht, wie sonst in dem körnigen Kryolith, und daß man also hier auch mehrere verschiedene Gesetze finden kann.

Das Verhältnis in den gewöhnlichen Krystallen ist so, daß einfache Individuen seltener sind; von den Zwillingen ist derjenige nach [110] entschieden der gewöhnlichste; Baumhauer's Gesetz kommt recht oft vor, während das neue Gesetz untergeordnet ist.

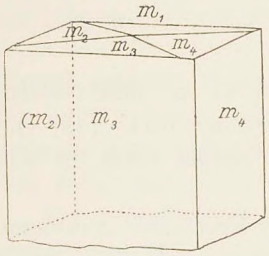
Das Zwillingsgesetz [110], das in den meisten Krystallen vorkommt, ist recht verschiedenartig ausgebildet; bisweilen sind die beiden Individuen beinahe im Gleichgewicht; das gewöhnlichste ist jedoch wohl, daß das eine Individuum dominiert, während das zweite als Lamellen in diesem auftritt, oder als kleinere Partien, die über das Relief des Hauptindividuums sich emporheben in der Form einer schrägen Ebene, die an drei Seiten von steilen Wänden umgeben ist. Eine solche Lage zeigt deutlich, daß der Zwilling, wenigstens die äußeren Partien desselben, durch Wachstum hervorgebracht sein müssen, und in Verbindung hiermit steht, daß die Zwillingsgrenzen in solchen Fällen ziemlich unregelmäßig verlaufen, während sie, wo Lamellen vorhanden sind, meistens vollkommen geradlinig sind, wie man es auch an den erwärmten Krystallen sieht. Aus diesem Grunde darf man annehmen, daß die Lamellen in den natürlichen Kryolithkrystallen wie wohl auch in anderen Substanzen durch Gleitung hervorgebracht sind. Die Kryolithkrystalle sind wohl bei recht hoher Temperatur gebildet worden, und dann treten Gleitungen, wie wir gesehen haben, außerordentlich leicht ein.

Beispiele von Kryolithkrystallen mit ganz feinen Zwillingslamellen sind auf Taf. VI in Fig. 1 und 2 dargestellt; in beiden Fällen ist der Krystall parallel {001} geschliffen, und man sieht zwei beinahe senkrechte Lamellensysteme, die parallel der Spur der Prismenflächen verlaufen. Daß sie nicht durch Zwillingsbildung nach {110}, sondern nach [110] gebildet sind, sieht man in den Präparaten dadurch, daß zwei angrenzende Individuen nicht symmetrisch zueinander in bezug auf die Zwillingsgrenze sind; jedoch tritt diese mangelnde Symmetrie nicht deutlich hervor, wenn der Schliff horizontal liegt, sondern erst, wenn er geneigt wird. Um die Zwillingsbildung genauer zu constatieren, muß man jedoch convergentes Licht benutzen, um dabei die Orientierung jedes einzelnen Individuums feststellen zu können.

Die Zwillingsbildung nach Baumhauer's Gesetz ist nicht so verbreitet wie diejenige nach [110]; doch findet man einzelne Handstücke, wo sie an beinahe allen Krystallen gefunden wird, und meistens ist sie dann wieder-

holt, und im regelmäßigsten Falle werden solche Vierlinge, wie in Fig. 29 dargestellt wird, gebildet. Mit Ausnahme von schmalen Stücken der senkrechten Flächen wird ein solcher Complex ausschließlich von {110} begrenzt. Die vier zusammenstoßenden oberen Flächen können entweder (wie in der Figur) eine erhöhte oder eine vertiefte Pyramide bilden.

Fig. 29.



Kryolith; regelmäßiger Vierlingskrystall.

Die Zwillingsgrenzen sind bei diesem Gesetz niemals besonders regelmäßig, und es ist wohl kein Grund anzunehmen, daß sie durch Gleitung hervorgebracht sind; Lamellen habe ich auch nicht gefunden. Dagegen ist es sehr gewöhnlich, daß die einzelnen Individuen mit sehr regelmäßigen Lamellen nach [110] versehen sind, die wohl durch Gleitung hervorgebracht sein müssen. Ein Beispiel hiervon kann man in Fig. 3, Taf. VI sehen; daß die Zwillingsgrenzen nicht sehr deutlich erscheinen, hängt davon ab, daß die Auslöschungsrichtungen in allen vier Individuen beinahe dieselben sind und nur durch eine kleine Schiefe in der Orientierung des Schliffes sichtbar werden.

Zwillingsbildungen nach dem neuen Gesetz sind in den inneren Partien der Krystalle gewöhnlich, ich habe sie aber niemals dicht an der Oberfläche gefunden. Sie können gewiß leicht mit den Zwillingen nach [110] verwechselt werden, da die Zwillingsgrenzen beider beinahe parallel den Kanten des Krystalls gehen, wenn man aber bedenkt, daß der ein- oder ausspringende Winkel der nach dem neuen Gesetz gebildet wird, über zwei aneinander stoßende Flächen sich fortsetzen muß, was beim anderen Gesetz nicht der Fall ist, sieht man, daß die Gesetze doch in jedem einzelnen Falle mit Sicherheit voneinander unterschieden werden können.

Das hier besprochene Gesetz zeigt sich nur an Lamellen, die wohl immer secundär sind; es wird stets in naher Verbindung mit den Zwillingen nach [110] gefunden, und dieselbe Combination kann künstlich hervorgebracht werden, wenn man ein Bruchstück eines Krystalls erwärmt.

6. Die Spaltbarkeit des Kryoliths.

Diese Eigenschaft ist von den verschiedenen Autoren recht verschiedenartig beschrieben worden, und es scheint, daß die meisten Angaben nicht gut mit den wirklichen Verhältnissen übereinstimmen.

Websky[1]) gibt für die Krystalle als vollkommenste Spaltfläche {110} an; dann kommt {1$\bar{1}$0} und darnach {001}; ferner besitzt {101} schwache Spaltbarkeit.

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1867, 810.

Des Cloizeaux[1]), der ja wie Websky das Mineral für triklin hielt, hat die drei Hauptflächen in entgegengesetzter Ordnung aufgeführt: {001} am stärksten mit Perlmutterglanz, {110} ziemlich stark (assez facile) und {1$\bar{1}$0} am schwächsten; ferner schwache Spaltbarkeit nach {101} und {011}.

Dana[2]) gibt vollkommene Spaltbarkeit nach {001}, weniger vollkommene nach {110} an.

Die Angaben von Krenner[3]) haben größere Bedeutung als diejenigen der vorigen, da Krenner die Krystallform des Minerals wie auch einigermaßen die Orientierung der einzelnen Krystalle sichergestellt hat; er findet eine ausgezeichnete Spaltbarkeit nach {001}, eine recht gute nach {110} und eine gute nach {101}. Verschiedene Autoren, die nachher den Kryolith besprochen haben, geben dieselben Richtungen an, ohne daß jedoch aus ihren Angaben hervorgeht, ob sie dieselben selbst näher geprüft haben.

Im Gegensatz zu allen früheren und späteren Verff. findet Johnstrup[4]), daß dem krystallisierten Kryolith Durchgänge fehlen und er einen deutlich muscheligen Bruch hat. Während die Divergenz zwischen den übrigen Verff. verhältnismäßig gering ist und sich vielleicht durch mangelhafte Orientierung der Krystalle erklären läßt, scheint es recht unverständlich, daß man zu so verschiedenen Resultaten kommen kann, wenn es sich um ein so elementares und meistens so leicht zu beobachtendes Phänomen wie die Spaltbarkeit handelt. Ich habe, wie man denken kann, großes Gewicht darauf gelegt, diese Frage zu entscheiden, und ich bin durch sehr viele Experimente zu demselben Resultat wie Johnstrup gekommen, nämlich, daß die Krystalle keine deutliche Spaltbarkeit besitzen.

Um verstehen zu können, wie dieselbe Tatsache in so entgegengesetzter Weise beobachtet werden kann, muß man erstens bedenken, daß das Innere der größeren Krystalle ganz wie der körnige Kryolith gebaut ist und also mit zahlreichen Absonderungsflächen erfüllt ist. Da man natürlich am liebsten die Spaltbarkeit gerade an den größten Krystallen probiert, können sich dabei leicht unrichtige Vorstellungen bilden. Ich habe selbst[5]), als ich die Verhältnisse noch nicht näher kannte, im Gegensatz zu Johnstrup ausgesprochen, daß einzelne größere Krystalle eine ganz deutliche Spaltbarkeit zeigen können. Für Krenner muß der Unterschied zwischen großen und kleinen Krystallen ebenfalls auffallend gewesen sein; er sagt nämlich, daß man bei Kryolith wie bei allen anderen Mineralien, die Beobachtung machen kann, daß größere Krystalle ihr Spaltungsvermögen leichter

1) Nouv. Rech. 1867, 201.
2) Mineralogy 1868.
3) Mat. u. Naturw. Ber. aus Ungarn 1883, **1**, 7. Ausz. diese Zeitschr. **10**, 525.
4) 12te Skand. Naturforskaremötets Förh. Stockholm 1880, 250.
5) Mineralogia Groenlandica, Medd. om Grönl. 1905, **32**, 411.

offenbaren als kleinere. Wenn auch diese Aussage dadurch eingeschränkt wird, daß der Kryolith mit anderen Mineralien zusammengestellt wird, würde es recht unmotiviert sein, wenn der Kryolith in dieser Beziehung sich nicht besonders verhielte. Was Krenner damit meint, daß größere Krystalle ihr Spaltungsvermögen leichter als kleinere offenbaren, ist nicht leicht einzusehen; wenn es nur bedeutet, daß große Spaltflächen leichter als kleinere zu sehen sind, scheint die Bemerkung überflüssig zu sein; auf der anderen Seite kann man doch nicht wohl denken, daß die Spaltbarkeit in beiden Fällen wirklich verschieden ist, da dies einen principiellen Unterschied in dem Bau beider voraussetzen würde, der doch nicht vorhanden sein kann.

Es scheint also, daß Krenner, und wohl auch andere, die Spaltbarkeit wesentlich an den größeren Krystallen beobachtet hat und dann nur schwierig die Verhältnisse auf die kleineren Krystalle hat übertragen können. Da man jedoch auch bisweilen in diesen eine anscheinende Spaltbarkeit finden kann, werde ich im folgenden zu erklären versuchen, woher diese rühren kann. Translationen oder Gleitungen scheinen hier ausgeschlossen zu sein, da solche gar nicht oder doch nur äußerst schwierig bei gewöhnlicher Temperatur gebildet werden können. Es bleiben dann wesentlich zwei Möglichkeiten übrig.

1. Die Existenz von Zwillingsgrenzen. Wie oben beschrieben wurde, besitzen die Krystalle recht gewöhnlich solche und bisweilen in sehr großer Anzahl. Da nun die secundär gebildeten Lamellen außerordentlich regelmäßig begrenzt sind, und Krystalle im allgemeinen verhältnismäßig leicht an den Zwillingsgrenzen getrennt werden, erhält man leicht den Eindruck von einer guten Spaltbarkeit. Es ist ja auch in jedem einzelnen Falle, wenn ein Krystall gespalten ist, fast unmöglich zu sehen, ob gerade an dieser Stelle eine Lamelle vorliegt; wenn man dagegen Dünnschliffe beobachtet, wird man leichter constatieren können, daß Spaltrisse mit Lamellen, namentlich solche nach dem neuen Gesetz, zusammenfallen. Diese Erklärung gilt jedoch nur für die anscheinend prismatische Spaltbarkeit, da keine Lamellen parallel der Basis verlaufen; es ist indessen stets möglich, daß die Orientierung des Krystalls im Inneren eine ganz andere als im Äußeren ist.

2. Es ist auch wohl möglich, daß in vielen Fällen eine Absonderung nach älteren, versteckten, Krystallflächen stattfinden kann, wie Mügge[1]) es z. B. beim Granat beschrieben hat. Es zeigt sich nämlich oft, daß die hervorgebrachten »Spaltflächen« mit denselben Streifungssystemen wie die Krystallflächen selbst versehen sind, ja oftmals auch mit den ganz kleinen Kryolithkrystallen, die sehr häufig auf den äußeren Flächen sitzen.

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1889, **1**, 239. Ausz. diese Zeitschr. **19**, 310.

Und doch kann man meistens, bevor man den Krystall zerschlägt, gar keine Spur von solchen versteckten Flächen sehen.

Ich habe selbst stets beobachtet, daß, wenn ein vollkommen durchsichtiger Krystall, der von Zwillingsbildungen ganz frei ist, zerschlagen wird, man dann vollkommen muscheligen Bruch erhält; wird das Bruchstück auf das Goniometer gebracht, so zeigt sich meistens gar kein Reflex an dem Orte der betreffenden Fläche. Wird ein gewöhnlicher, complicierter gebauter Krystall zerschlagen, so sieht man oft deutlich, daß Partien mit muscheligem Bruch mit solchen mit anscheinenden Spaltflächen wechseln; in dem körnigen Kryolith kommen auch Partien mit muscheligem Bruch sehr oft vor; doch haben hier die Absonderungsflächen in den Richtungen des anscheinenden Würfels die größte Verbreitung.

Auch aus rein theoretischen Gründen ist das gewöhnlich angegebene Spaltungsschema beim Kryolith unwahrscheinlich. Friedel[1]), der die Molekularstructur unter der Voraussetzung, daß {001} und {110} vorherrschende Spaltflächen sind, bestimmt, findet auch, daß $\{10\bar{1}\}$ als Spaltfläche unerklärlich ist, da sie in die Reihe der Flächen erst als Nr. 8 folgen dürfte. Die Verhältnisse werden am anschaulichsten, wenn man sich das Mineral als regulär denkt, was ohne wesentliche Fehler betreffend die Netzdichte der Ebenen angenommen werden kann. Wenn dann der Kryolith ausgeprägte Würfelspaltbarkeit besitzt (zu »mode hexaédral« gehört), muß das Rhombendodekaëder die nächst wichtigste Form sein und dann kommt erst das Oktaëder. Wenn dieses dagegen vorherrschend ist (»mode octaédral«), wird der Würfel Nr. 2, und dies stimmt ebenfalls nicht mit dem gewöhnlich angegebenen Spaltungsschema.

II. Der körnige Kryolith.

Wenn man den gewöhnlichen, großkörnigen Kryolith mit den Krystallen vergleicht, erhält man beinahe den Eindruck, daß es zwei verschiedene Mineralien sind. Die Krystalle sind wasserhell, farblos, mit muscheligem Bruch, während die körnige Masse weißlich, halbdurchsichtig und mit zahlreichen Absonderungsflächen in drei zueinander senkrechten Richtungen versehen ist.

Diese Verschiedenheiten hängen wesentlich davon ab, daß der körnige Kryolith viel dichter von Zwillingslamellen durchsetzt ist. Untersucht man seinen Bau unter dem Mikroskop näher, so wird man finden, daß eine viel größere Anzahl von Zwillingsgesetzen als in den Krystallen vorhanden ist; außer den drei, die an diesen gewöhnlich sind, nämlich das nach [110], Baumhauer's und das neue Gesetz, kommen hier sehr oft folgende vier,

1) Étude sur les Groupements cristallins. Bull. Soc. de l'Industrie minérale 1904, **3—4**, 455.

nämlich nach {001}, {100}, {112} und {11$\bar{2}$}, vor. Dagegen habe ich niemals das an einem Krystall beobachtete Gesetz nach [11$\bar{1}$] am körnigen Kryolith gefunden, wie auch nicht das ihm entsprechende Gesetz [111] jemals gefunden wurde. Zwillingslamellen nach (110) habe ich nur am körnigen Kryolith vom Ural gefunden.

Die sieben Gesetze, die am körnigen Kryolith von Ivigtut vorkommen, sind alle sehr gewöhnlich, obgleich bald das eine, bald das andere im einzelnen Schliff dominiert. Man kann hieraus ersehen, daß diese Substanz eine der am meisten compliciert gebauten von allen sein muß; alle anderen polysynthetischen Substanzen besitzen doch nur eine oder ganz wenige Zwillingsbildungen. Wenn man noch bedenkt, daß die früheren Beobachter einen unrichtigen Ausgangspunkt für die Bestimmung der Zwillingsgesetze gehabt haben, indem sie die an den Krystallen vorkommenden Gesetze nicht kannten, so ist es nicht so merkwürdig, daß sie diese Structur nicht haben erklären können.

Diejenigen, die den körnigen Kryolith näher beschrieben haben, sind Mügge und Cross und Hildebrand. Mügge[1]) findet die folgenden fünf Zwillingsgesetze: {110}, {001}, {100}, {112} und {11$\bar{2}$}. Es ist nicht möglich, in den einzelnen Fällen genau anzugeben, welche Gesetze wirklich beobachtet worden sind; ich werde jedoch zunächst die Beschreibung Mügge's folgendermaßen deuten: Unter 1a sind, in Schliffen nach {110}, symmetrisch auslöschende Lamellen nach einer Spaltrichtung beschrieben worden; Mügge selbst zweifelt, ob es Zwillinge nach {110} oder {001} sind, und doch sind diese Richtungen schon in parallelem Lichte leicht voneinander zu unterscheiden, wenn man sich erinnert, daß die Richtung kleinster Elasticität mit der Spur von {001} einen Winkel von beinahe 60° bildet; es ist jedoch wahrscheinlich, daß die hier beschriebenen Lamellen solche nach {001} sind. Zweifelhafter sind die unter 1b beschriebenen Lamellen, die parallel mit den ersten auslöschen und senkrecht zu ihnen verlaufen sollen; wenn dies richtig ist, müssen Lamellen nach {110} vorliegen, falls die Zwillingsgrenzen senkrecht zur Schlifffläche stehen; nach dem, was ich beobachtet habe, ist es jedoch wahrscheinlicher, daß entweder Zwillinge nach {100} oder nach dem neuen Gesetz vorliegen; in letzterem Falle müssen die Auslöschungsrichtungen mit der Richtung der Lamellen jedoch einen Winkel von 45° bilden; es ist aber bei sehr dünnen Lamellen recht schwierig, die Auslöschungsrichtung genau zu bestimmen, und kleine Schiefen in der Schlifflage können diese sehr stark ändern. Die unter 2 beschriebenen Lamellen sind wohl richtig als nach {112} und {11$\bar{2}$} bestimmt; dagegen sind die Lamellen unter 3 wahrscheinlich unrichtig

1) Jahrbuch der Hamburgischen wiss. Anst. 1884, 67. Ausz. diese Zeitschr. 11, 167.

gedeutet; es liegt am nächsten, anzunehmen, daß es Zwillinge nach [110] und nicht nach {110} sind.

Cross und Hildebrand haben den amerikanischen Kryolith untersucht, der sich wesentlich wie der grönländische verhält. Der erste Bericht[1]) ist nur vorläufig; der zweite[2]) ist ausführlicher, und hier werden Zwillinge nach {110}, {100}, {112} und $\{11\bar{2}\}$ beschrieben. Die angewandte Untersuchungsmethode macht die genaue Verfolgung der Beschreibung schwierig; es werden nämlich drei aufeinander senkrechte Schliffe von jedem Stück verfertigt, um die Orientierung zu bestimmen; dies kann jedoch niemals exact ausgeführt werden, da man doch die Schliffe nicht ganz dicht aneinanderlegen kann und die Orientierung des Ganzen sich auf einem kleinen Raum vollkommen ändern kann. Wenn man die einzelnen Gesetze durchsieht, scheint die Beschreibung, die von »law a« (Zwillinge nach {110}) gegeben ist, am besten mit der gewöhnlichen complicierten Combination von Lamellen nach [110] und dem neuen Gesetz zu stimmen. Daß kein Symmetriezwilling vorliegen kann, zeigt direct die Beschreibung von demjenigen Schliffe (Fig. 7), der beinahe in der Richtung der Lamellen so geschliffen ist, daß diese sich nur durch eine zufällige Schiefe als breite Bänder zeigen; die Auslöschungsschiefen werden hier zu 30° rechts und links angegeben, während Symmetriezwillinge, ähnlich geschliffen, beinahe zusammenfallende Auslöschungsrichtungen haben müssen. Die als »law b« nach {112} und $\{11\bar{2}\}$ beschriebenen Zwillinge sind wohl richtig gedeutet; die Verfasser haben jedoch auch hier Zwillingsbildungen bemerkt, die sie nicht erklären konnten; es ist ziemlich sicher, daß hier Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz, die ja oft zusammen mit den genannten vorkommen, vorliegen. Auf Fig. 10 von Cross und Hildebrand steht die mit y bezeichnete Lamelle sicher mit dem Hauptindividuum in Zwillingsstellung nach Baumhauer's Gesetz; x ist Symmetriezwilling nach {112} und $\{11\bar{2}\}$, und z ist mit x durch Baumhauer's Gesetz verbunden und kann in diesem Falle nur innerhalb dieser Lamellen vorkommen. Die Verfasser stellen jedoch x mit dem Hauptindividuum als Zwilling nach {110} mit {112} oder $\{11\bar{2}\}$ als Verwachsungsfläche zusammen, was ganz unwahrscheinlich ist.

Was als »law c« (Zwillinge nach {100} mit Verwachsungsfläche {110}) beschrieben wird, ist unmöglich zu bestimmen. Die Existenz eines solchen Zwillings wird dadurch motiviert, daß die Lamellen nach »law a« in zwei senkrechten Richtungen verlaufen, indem davon ausgegangen wird, daß diese Lamellen nur parallel der einen Prismenfläche auftreten; da dies jedoch ganz sicher nicht der Fall zu sein braucht, ist es wohl möglich, daß

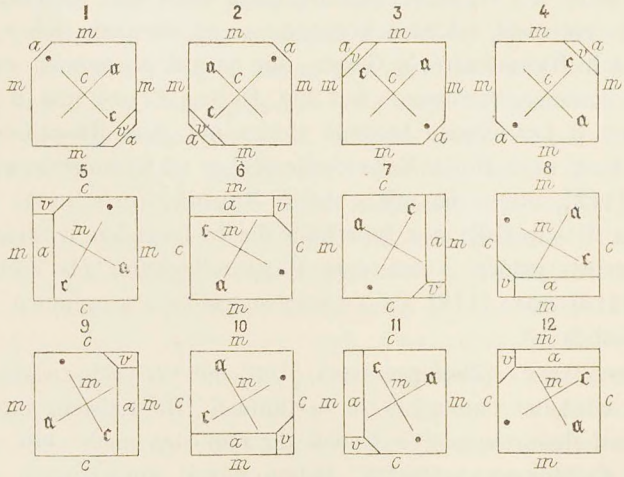
1) Amer. Journ. Sc. 1883, III, **26**, 274. Ausz. diese Zeitschr. **10**, 303.
2) Bull. U. S. Geol. Surv. 1885, **20**, 43.

»law c« kein specielles Gesetz repräsentiert. »Law d« stimmt im ganzen mit dem sogenannten neuen Gesetz überein; es wird als Zwilling nach {112} oder {11$\bar{2}$} mit {110} als Verwachsungsfläche beschrieben; die mit den beiden Gesetzen reciproken Zwillinge nach [111] und [11$\bar{1}$] würden wohl eine solche Verwachsungsfläche haben, da diese jedoch nicht im körnigen Kryolith vorkommen, müssen sie wohl doch als sehr unwahrscheinlich betrachtet werden. Was »law e« (Zwillinge nach {112}, Grenze unregelmäßig) betrifft, so umfaßt es gewiß verschiedene Phänomene; was auf Fig. 7 als eine horizontale Lamelle hervortritt, ist ganz sicher ein Zwilling nach dem neuen Gesetz, in welchem Falle die Flächen von {001} und {110} an der Schliffgrenze jedoch vertauscht sein müssen; auf Fig. 8 ist es unmöglich, die vorhandene Zwillingsbildung zu erkennen.

Baumhauer[1]) hat versucht, den Bau des Kryoliths durch Ätzfiguren zu bestimmen; wenn auch diese Methode an sich sehr exact ist, fordert sie doch eine viel größere Breite der einzelnen Lamellen, als zur optischen Untersuchung notwendig ist, sodaß man selten dadurch etwas erreichen kann. Baumhauer kommt zu dem Resultat, daß die beiden von ihm erkannten Gesetze sich auch im körnigen Kryolith finden, daß aber auch möglicherweise »echte« Zwillinge auftreten; er verfolgte jedoch die Sache nicht weiter.

Bei der Untersuchung von körnigem Kryolith habe ich nur Schliffe

Fig. 30.



Schematisches Bild der zwölf Hauptlagen der Individuen des körnigen Kryoliths.

nach den drei Hauptrichtungen benutzt; eine genaue Orientierung der Schliffe ist natürlich ausgeschlossen, da die einzelnen Individuen im ganzen

1) Diese Zeitschr. 1886, **11**, 139.

Complex um mehrere Grade voneinander abweichen können; eine kleinere Schiefe kann jedoch auch die Bestimmung nicht hindern. Um eine Übersicht über die Orientierung der einzelnen Individuen zu bekommen und dabei die Beschreibung zu vereinfachen, habe ich in Fig. 30 ein Bild von den zwölf Hauptlagen des Kryoliths im polysynthetischen Complex gegeben. Da keines der bekannten Gesetze die würfelähnliche Grundform mehr als um wenige Grade ändert, muß also jedes vorhandene Individuum eine von diesen zwölf Lagen besitzen, obgleich sie innerhalb jedes einzelnen unter ihnen voneinander ein wenig divergieren können. Um die Orientierung der Individuen am besten veranschaulichen zu können, habe ich sie als Combinationen von $c\{001\}$, $m\{110\}$, $a\{100\}$ und $v\{101\}$ gezeichnet; die zwei letztgenannten Formen sind wohl nicht die am häufigsten vorkommenden, sie sind aber dafür gut geeignet, die Krystalle zu orientieren. Ferner sind gezeichnet die Auslöschungsrichtungen mit der Lage der relativen a- und c-Richtungen, und endlich mit einem Punkte die Richtung, in welcher die optischen Axen gelegen sind; die Axenbilder selbst sind wohl nicht sichtbar, dagegen sieht man leicht beim Drehen des Präparates, von welcher Seite die Balken ausgehen. Sind die Lamellen in einem Schliff so dünn, daß man convergentes Licht nicht anwenden kann, so läßt die Structur sich kaum bestimmen; in der Regel sind jedoch einige Lamellen dick genug, und ist dies nur mit einer einzigen der Fall, so lassen die übrigen sich leicht mit Hilfe dieser bestimmen.

Wie die zwölf Hauptlagen miteinander verbunden sind, sieht man aus der folgenden Tabelle, in welcher alle beim Kryolith bekannten Gesetze und auch das Gesetz [111] aufgenommen sind. Überall ist ein Individuum in der ersten Colonne mit denjenigen in den folgenden durch das Gesetz, das obenan steht, verbunden.

Tabelle über die Zwillingsgesetze des Kryoliths
(vergl. Fig. 30).

	Baumhauer's Gesetz oder neues Gesetz				[110] oder (110)		(112) oder [111]		$(11\bar{2})$ oder $[11\bar{1}]$		(001) oder (100)
1	5	9	8	12	2	4	6	11	7	10	3
2	5	9	6	10	1	3	7	12	8	11	4
3	7	11	6	10	2	4	8	9	5	12	1
4	7	11	8	12	1	3	5	10	6	9	2
5	1	2	6	8	7	9	4	10	3	12	11
6	2	3	5	7	8	10	1	11	4	9	12
7	3	4	6	8	5	11	2	12	1	10	9
8	1	4	5	7	6	12	3	9	2	11	10
9	1	2	10	12	5	11	3	8	4	6	7
10	2	3	9	11	6	12	4	5	1	7	8
11	3	4	10	12	7	9	1	6	2	8	5
12	1	4	9	11	8	10	2	7	3	5	6

Es wird aus der Tabelle hervorgehen, daß man in keinem Falle ein Gesetz ohne Verwendung von convergentem Licht constatieren kann. Um das erste Beispiel zu nehmen, sieht man, daß 1 und 5 durch Baumhauer's oder das neue Gesetz verbunden sind; 1 und 3 können nur durch convergentes Licht unterschieden werden, wie auch 5 und 7; 1 und 7 wie 3 und 5 bilden dagegen miteinander Zwillinge nach $(11\bar{2})$ oder $[11\bar{1}]$. Wenn man aber auch convergentes Licht anwendet und sodann die Lage der Individuen bestimmt hat, existieren doch noch in jedem Falle, wie man sieht, zwei Gesetze, und um das richtige zu finden, muß man die Lage der Zwillingsgrenze berücksichtigen, die für zwei zusammengehörige (reciproke) Gesetze stets verschieden ist. Es läßt sich also gar nicht ausführen, wie es Cross und Hildebrand versucht haben, eine Zwillingsbildung zu bestimmen, wenn Zwillingsfläche und Verwachsungsfläche nicht zusammenfallen, und ebenfalls auch nicht, wenn die Begrenzung unregelmäßig ist. Nach meinen Beobachtungen kommen diese beiden Fälle jedoch recht selten vor. Ich habe im folgenden eine Tabelle zusammengestellt über die Lage der Begrenzungsebene bei den zehn Gesetzen:

Zwillingsgesetz	Die Grenze parallel oder beinahe parallel
(100)	(100)
(110), [110], [111], $[11\bar{1}]$, neues Gesetz	(110)
(001)	(001)
(112), Baumhauer's Gesetz	(112)
$(11\bar{2})$ » »	$(11\bar{2})$

Da es im einzelnen eine große Variation im Aussehen der Schliffe von körnigem Kryolith gibt, ist es nicht möglich, dessen Structur allgemein zu beschreiben. Im folgenden werde ich eine Reihe von Schliffen erklären, die zusammen ein allseitiges Bild von den Verhältnissen geben; doch sind nur die Schliffe aufgenommen, die einigermaßen deutlich, also mit regelmäßigen und nicht zu dünnen Lamellen ausgebildet waren.

Die Schliffe sind in zwei Gruppen geteilt, je nachdem sie überwiegend parallel {110} oder {001} sind; diese sind jedoch nicht scharf voneinander unterschieden, da jeder Schliff in der Regel Partien von beiden Flächen enthält. Im Gegensatz zu dem, was gewöhnlich angegeben wird, habe ich gefunden, daß die Absonderung nach {110} stets leichter als diejenige nach {001} ist; wenn eine dünne Platte losgeschlagen wird, ist sie auch überwiegend parallel {110} orientiert.

a) Schliffe überwiegend parallel {001}.

Taf. VI, Fig. 4 zeigt einen Schliff, der überwiegend aus einem grauen Individuum in Stellung 2 besteht; die verticalen Lamellen sind schwarz in

St. 9 oder in einem Falle weiß (St. 5), die horizontalen sind weiß (St. 6) oder seltener schwarz (St. 10); alle vier Systeme bilden mit dem Hauptindividuum Zwillinge nach dem neuen Gesetz, und man sieht auf dem Bilde auch keine anderen Gesetze; bei anderen Beleuchtungen sieht man in dem Präparate auch feine Lamellen nach [110] und Baumhauer's Gesetz.

Taf. VI, Fig. 5 zeigt ein ähnliches Bild, mit helleren Streifen in Stellung 1 und dunkleren in St. 5, also auch das neue Gesetz; außerdem sieht man aber auch in den dunklen Lamellen helle schräge Streifen in St. 8; hier hat man also Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz, die nur durch eine eingeschaltete Gypsplatte sichtbar werden; in einigen von den hellen Lamellen sieht man schwach hervortretende, verticale Streifen, die nicht ganz mit den Hauptlamellen parallel sind; sie gehören dem Individuum 4 an, und man hat hier eine Zwillingsbildung nach [110].

Taf. VI, Fig. 6 ist noch mehr compliciert; das Hauptindividuum (grau) ist in Stellung 3, und die am meisten hervortretenden Lamellen gehören auch hier dem neuen Gesetz an, nämlich die hellen, verticalen (St. 7), die hellen, horizontalen (St. 6) und die dunklen, horizontalen (St. 10). Die breiten, dunklen, schrägen Streifen sind in St. 1 und mit dem Hauptindividuum durch Zwillingsbildung nach {100} verbunden. Die ganz kleinen, schrägen Streifen in den hellen verticalen Lamellen repräsentieren Zwillingsbildung nach Baumhauer's Gesetz. Das breite, helle, horizontale Band ist in St. 7 (also wie die verticalen Streifen) und bildet mit dem Hauptindividuum einen Zwilling nach Baumhauer's Gesetz; daß die Grenzen ganz unscharf sind, rührt hier wie sonst überall davon her, daß die Verwachsungsfläche mit der Schliffebene einen Winkel von beinahe 45° bildet.

Taf. VI, Fig. 7 zeigt hauptsächlich Zwillingsbildung nach {001}; das größte Individuum (dunkel) nimmt Stellung 4 ein, das hellere St. 2. Die beiden stark hervortretenden, verticalen Streifen sind teilweise weiß (St. 7), teilweise schwarz (St. 9), und bilden mit bezw. 4 und 2 Zwillinge nach dem neuen Gesetz. Die dünnen, verticalen Streifen, die nicht genau mit den vorigen parallel sind, deuten auf Zwillingsbildung nach [110].

b. Schliffe überwiegend parallel {110}.

Der in der Taf. VI, Fig. 8 abgebildete Schliff zeigt namentlich ein breites Band mit abwechselnden schwarzen (Stellung 9) und weißen (St. 6) Streifen, also Zwillinge nach $\{11\bar{2}\}$; die übrigen Partien zeigen nichts besonderes.

Taf. VI, Fig. 9 ist ebenfalls ein Beispiel von Zwillingen nach $\{11\bar{2}\}$; das schwarze Individuum hat Stellung 9, das weiße, schräge Band St. 6. Das ganze Kryolithstück, aus dem der Schliff verfertigt war, war von solchen Bändern durchsetzt, die auch makroskopisch sichtbar waren. Die Structur des Schliffes ist, wie man sieht, viel complicierter; doch werde ich hier die übrigen Lamellen nicht beschreiben.

Taf. VI, Fig. 10 zeigt außer senkrechten Streifen, die Zwillingsbildung nach dem neuen Gesetz zeigen, auch zahlreiche schräge Streifen; diese gehören in der breitesten Partie des Bildes abwechselnd den Stellungen 9 und 12 an, sind also Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz; die Grenze zwischen ihnen dürfte überall nach unten links verlaufen; es scheint jedoch, daß sie oft den entgegengesetzten Verlauf haben; da die einzelnen Individuen so klein sind, läßt sich diese Abweichung nicht leicht erklären.

Taf. VII, Fig. 1 zeigt eine sehr oft vorkommende Structur; hauptsächlich finden sich nur zwei Individuen, ein schwarzes (Stellung 7) und ein weißes (St. 9); sie sind durch zweierlei Grenzen getrennt, nämlich scharfe horizontale und unscharfe verticale; die ersten verlaufen parallel {001}, die zweiten parallel {100}. Oben links sieht man auch schwache Spuren von Streifen nach Baumhauer's Gesetz.

Taf. VII, Fig. 2 zeigt ein ähnliches Bild, nämlich ein schwarzes Individuum (7) und ein helles (9), also Zwillinge nach {100} und {001}; außerdem finden sich zahlreiche schräge Streifen, von welchen die nach unten rechts verlaufenden in ihren weißen Partien Stellung 10 besitzen und also mit dem angrenzenden Individuum in St. 7 Zwillinge nach $\{11\bar{2}\}$ bilden, während die schwarzen Partien in St. 8 sind und mit Individuum 9 Zwillinge nach {112} bilden. Auf ähnliche Weise sind die nach unten links verlaufenden Streifen teils schwarz (St. 6), teils weiß (St. 12) und bilden auch mit den angrenzenden Individuen Zwillinge nach {112} und $\{11\bar{2}\}$.

Taf. VII, Fig. 3 zeigt im oberen Teile ein ähnliches Bild mit Zwillingen nach {100}, $\{11\bar{2}\}$ und {112}; der untere Teil ist dagegen bis auf über 550° erwärmt worden und gibt ein gutes Bild von der dadurch gebildeten Structur, die so fein ist, daß die einzelnen Zwillingsbildungen sich ganz unmöglich deuten lassen. Der Kryolith bildet in dieser Beziehung einen merkwürdigen Gegensatz zu mehreren anderen bekannten polysynthetischen Substanzen, z. B. Boracit und Katapleït, indem bei diesen nach der Erwärmung beinahe oder ganz ihr früheres Lamellensystem zurückkehrt, während beim Kryolith keine Spur davon erhalten bleibt.

Die hier beschriebenen Schliffe werden hoffentlich ein genügendes Bild davon gegeben haben, wie compliciert die Structur des körnigen Kryoliths ist, und wie verschiedenartig zugleich, je nach dem das eine oder das andere Gesetz dominiert. Es ist recht schwierig zu sagen, welches von den sieben Gesetzen das gewöhnlichste ist. Die beiden Gesetze [111] und und $[11\bar{1}]$ habe ich niemals im körnigen Kryolith constatieren können und ebenfalls habe ich im grönländischen Kryolith niemals das Gesetz {110} finden können, trotzdem daß ich gerade nach diesem mit dem größten Eifer gesucht habe. Desto merkwürdiger ist es, daß dieser Zwilling im uralischen

Kryolith existiert und zudem unter recht merkwürdigen Verhältnissen, wie ich kurz berichten will.

Von den drei Handstücken, etikettiert »Chiolith aus dem Ural«, die das Museum in Kopenhagen besitzt, enthalten zwei Kryolith. Das eine Stück bildet eine merkwürdige Verwachsung von Kryolith und Kryolithionit und kleineren Mengen von Chiolith[1]); der Kryolith ist meistens von dunkler Farbe und zeigt eine mikroskopische Structur, die ganz mit derjenigen des grönländischen Kryoliths übereinstimmt.

Das zweite Stück enthält außer Chiolith ein (polysynthetisches) Individuum von Kryolith und ein wenig Thomsenolith. Der Kryolith ist recht schwer zu erkennen, da er in einer Richtung eine ungewöhnlich starke Absonderung hat, während die anderen Richtungen keine solche besitzen; die Schliffe zeigen, daß der ganze Complex nur aus zwei Individuen besteht, die in gegenseitiger Zwillingsstellung nach (110) stehen; jede Zwillingsgrenze verursacht eine starke Absonderung. Ich habe durch Schliffe in verschiedenen Richtungen dieses Gesetz constatiert, sodaß es als absolut sicher betrachtet werden kann.

III. Theoretische Ableitung der Zwillingsgesetze bei Kryolith, Perowskit und Boracit.

Bevor ich dazu übergehe, durch die beim Kryolith gefundenen Zwillingsbildungen die recht ähnlichen bei Perowskit und Boracit zu bestimmen, werde ich zuerst näher begründen, daß die zehn in der Tabelle, S. 398, aufgeführten Gesetze die einzigen sind, die man überhaupt im polysynthetischen Kryolith erwarten kann; wenn man dann diese auf das rhombische System überträgt, sieht man unmittelbar, welche Zwillingsgesetze man bei den beiden anderen Mineralien erwarten kann.

Die möglichen Zwillingsgesetze beim Kryolith, die ich im folgenden zu untersuchen habe, sind nur solche, die im polysynthetischen, mimetisch regulären Aufbau der Krystalle vorkommen können, also solche, die in demselben Augenblick, in welchem der Krystall regulär wird, wegfallen müssen. Zwillinge, die z. B. mit Oktaëderzwillingen analog sind, werden also nicht betrachtet und kommen übrigens bei den hier behandelten Mineralien auch nicht vor. Um die Zwillinge des Kryoliths zu bestimmen, braucht man also nur sämtliche für den regulären Krystall bekannten Deckoperationen auf den Kryolith zu übertragen. Die regulären Symmetrieelemente sind bekanntlich die folgenden:

1. Die Haupt-(Würfel-)symmetrieebenen geben die beim Kryolith bekannten Zwillinge nach {001} und {110}.

1) Ich hoffe diese Verhältnisse in einer nachfolgenden Abhandlung genauer beschreiben zu können.

2. Die Neben-(Dodekaëder-)symmetrieebenen geben die ebenfalls bekannten Zwillinge nach {100}, {112} und {11$\bar{2}$}, während {010} natürlich nicht als Zwillingsfläche auftreten kann.

3. Die vierzähligen Symmetrieaxen werden entweder von den Axen [110] und [001] oder von den sehr naheliegenden Normalen der Flächen {110} und {001} repräsentiert. Um alle vier Axen lassen sich Drehungen von beinahe 90° oder von 180° ausführen, es sind also im ganzen acht Fälle zu untersuchen:

a) Axe [110], Drehung ca. 90°, gibt Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz.

b) Dieselbe Axe, Drehung 180°, gibt Zwillinge nach [110].

c) Axe die Normale von {110}, Drehung ca. 90°, gibt Zwillinge nach dem neuen Gesetz.

d) Dieselbe Axe, Drehung 180°, gibt Zwillinge nach {110}.

e) Axe [001], Drehung ca. 90°; hier kann nur eine Gleichgewichtslage eintreten, wenn zwei Prismenflächen zusammenfallen, also nach einer Drehung von 88° 2′ oder 91° 52′, und dann erhält man den Zwilling nach {110}.

f) Dieselbe Axe, Drehung 180°, gibt Zwillinge nach {100}.

g) Axe die Normale von {001}, Drehung ca. 90°, muß mit dem Zwilling nach [110] identisch werden.

h) Dieselbe Axe, Drehung 180°, gibt Zwillinge nach {001}.

4. Die zweizähligen Symmetrieaxen. Hier kann natürlich nur eine Drehung um 180° stattfinden, und man erhält dann die Zwillinge nach [111] und [11$\bar{1}$], von welchen nur der letztere bekannt ist; eine Drehung um die Axe [100] führt nur zu den Zwillingen nach {001}.

5. Die dreizähligen Axen. Es läßt sich auch eine Zwillingslage durch Drehung von ca. 120° um diese Axe hervorbringen, die ja beim Kryolith entweder von den Axen [101], [10$\bar{1}$] und [011] oder von den Normalen der Flächen {101}, {10$\bar{1}$} und {011} repräsentiert werden. Wenn man diese Fälle durchprobiert, wird man sehen, daß man überall zu einem bekannten Zwillingsgesetze oder doch zu einer Lage, die davon sehr wenig abweicht, kommt. Ein einzelnes Beispiel wird dies vielleicht beleuchten: wenn man den Krystall um die Normale von {101} dreht, werden nach einer Drehung von 120° die drei Kanten zwischen dieser Fläche und den angrenzenden von {001} und {110} beinahe zusammenfallen; wenn die beiden Kanten zwischen {101} und den Prismenflächen genau zusammenfallen, müssen auch die Prismenflächen einander genau decken, da sie denselben Winkel mit {101} bilden, und man erhält dann die früher besprochene Zwillingsbildung [11$\bar{1}$]; wird die Drehung dagegen so weit geführt, daß eine Kante (101):(001) mit einer solchen (101):(110) des anderen

Individuums genau zusammenfällt, so erhält man einen heteroaxialen Zwilling, der sich dem vorhergenannten sehr stark nähert und, obgleich möglich, so doch recht unwahrscheinlich ist[1]). Ebenso findet man, daß eine Drehung um die Axe [101], die sich der vorigen Axe sehr nähert, den Zwilling nach $\{11\bar{2}\}$ gibt; eine Drehung um die Normale von $\{10\bar{1}\}$ gibt Zwillinge nach [111], und um die Axe $[10\bar{1}]$ solche nach $\{11\bar{2}\}$. Eine Drehung um die Normale von {011} gibt Zwillinge nach Baumhauer's Gesetz und um die Axe [011] solche nach dem neuen Gesetz. Doch sind auch in allen diesen Fällen heteroaxiale Zwillingslagen möglich, die jedoch jedenfalls den oben genannten Gesetzen sehr nahe stehen und gewissermaßen als untergeordnet unter diese betrachtet werden können.

Da jetzt alle möglichen Deckoperationen ausgeführt sind, so wird hieraus hervorgehen, daß man nur die genannten zehn Gesetze beim Kryolith erhalten kann, wenn man nicht die überall vorhandenen, sehr nahestehenden heteroaxialen Zwillingsbildungen berücksichtigt. Dieselbe Betrachtung kann mit allen anderen pseudoregulären oder überhaupt allen pseudosymmetrischen Substanzen durchgeführt werden. Es ist natürlich, den Kryolith als Ausgangspunkt zu benutzen, da dies Mineral sowohl in sehr gut ausgebildeten Einzelkrystallen existiert, wie auch eine größere Mannigfaltigkeit der polysynthetischen Zwillingsbildungen besitzt wie irgendeine andere Substanz. In anderen Fällen, wo man keine einfachen Krystalle kennt, wird man die Zwillinge mit irrationalen Verwachsungsflächen sehr schwierig deuten können, und solche scheinen eine viel größere Verbreitung zu besitzen, als man früher angenommen hat. Bei Perowskit und Boracit trifft es sich derart glücklich, daß die beobachteten Verhältnisse so genau mit den theoretisch abgeleiteten stimmen, daß man dadurch das eine bei diesen Mineralien vorkommende Gesetz mit irrationaler Be-

1) Wenigstens habe ich niemals bei den hier behandelten drei Mineralien, wo doch die Verhältnisse ziemlich klar liegen, gefunden, daß ein heteroaxialer Zwilling in unmittelbarer Nähe von einem homoaxialen existieren kann; und man sollte es a priori auch nicht erwarten, da die homoaxiale Zwillingsbindung viel stärker ist und also eine große Anziehung ausüben muß. Bei anderen Mineralien ist das Verhältnis vielleicht ein anderes; Goldschmidt (diese Zeitschr. 1908, **44**, 40) beschreibt z. B. beim Quarz ein Zusammenwirken von zwei Gesetzen, von welchen das eine (nach $s\{11\bar{2}1\}$) homoaxial ist, während das andere (Zwickauer Gesetz) heteroxial ist; es scheint, daß beide beinahe die gleiche Anziehung ausüben. Brögger (diese Zeitschr. 1880, **16**, 24) hat in den berühmten Hydrargillitzwillingen einen Fall gezeigt, wo der heteroaxiale Zwilling ausgesprochen der dominierende ist; Johnsen (Centralbl. f. Mineral. 1907, 407; Ausz. diese Zeitschr. **47**, 665) hat wohl versucht, dieselben durch Zwillingsbildung nach [130] zu erklären, wenn man aber die von Brögger angegebenen Zonenverbände berücksichtigt, so läßt diese Erklärung sich gar nicht aufrecht erhalten. Richtiger scheint Johnsens's Deutung von Tschermak's drittem Glimmergesetz zu sein.

grenzungsfläche sicher constatieren kann; bei anderen Substanzen kann dies dagegen ganz unmöglich sein.

Das für den Kryolith charakteristische Verhältnis ist, daß die monoklinen Subindividuen so in dem mimetisch-regulären Krystall orientiert sind, daß dessen Würfel von der monoklinen Combination Basis und Prisma repräsentiert wird. Wir fanden, daß in diesem Falle zehn Zwillingsbildungen existieren können, von welchen acht homoaxial, zwei heteroaxial sind. Von den so gebauten Substanzen ist der Kryolith das vollständigste Beispiel, da er, wie wir gesehen haben, im ganzen neun von diesen Gesetzen zeigt. Andere Beispiele sind die Salze $NiCl_2$, $NH_4Cl.6H_2O$ und die entsprechende Eisenverbindung, die von Johnsen[1]) beschrieben sind. Von diesen besitzt das erste die am meisten complicierten Zwillingsbildungen, nämlich die Gesetze {110}, {111} oder {11$\bar{1}$}, vielleicht auch [112] oder [11$\bar{2}$] ({111} entspricht {112} bei Kryolith, und [112] [111]); die Zwillinge treten als Lamellen auf und lassen sich teilweise durch Schiebung hervorbringen. Pseudoreguläre Bildungen kommen auch bei den Mineralien Phillipsit und Harmotom vor mit den Gesetzen {001}, {011} und {110} (entsprechend bezw. {100}, {110} und {112} bei Kryolith). Endlich müssen hier die Verbindungen KJO_3 und NH_4JO_3 [2]) genannt werden, von welchen die erstere in regelmäßigen Vierlingen nach {110} vorkommt, während die zweite, die jedoch vielleicht rhombisch ist, außerdem Zwillinge nach {112} bildet.

Es kommt aber auch eine zweite monokline pseudoreguläre Abteilung vor, die dadurch charakterisiert ist, daß der Würfel von den drei monoklinen Pinakoiden gebildet wird. Das vollständige Zwillingsschema würde hier ebenfalls zehn Gesetze umfassen, nämlich acht homoaxiale ({001}, {100}, {110}, {101}, {10$\bar{1}$}, {011}, [110] und [011]) und zwei heteroaxiale, zu deren Definition man am besten eine Drehung von 120° um die pseudoregulären dreizähligen Axen [112] und [11$\bar{2}$] annehmen muß. Das vollständigste Beispiel in dieser Abteilung ist die Verbindung Triäthylpropylammoniumhexachloroplatinat, die von Ries[3]) beschrieben ist: sie zeigt die vier Gesetze {110}, {011}, {101}, {10$\bar{1}$}, meistens als Lamellen ausgebildet. Weniger ausgeprägt pseudoregulär ist das Salz CrO_3ClK [4]), an welchem nur nach {001} Zwillingslamellen vorkommen.

Wenn die Subindividuen triklin sind, existiert kein Unterschied, der demjenigen zwischen den beiden monoklinen Abteilungen entspricht. Es

---

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1903, **2**, 104 und 107. Ausz. diese Zeitschr. **41**, 526.

2) A. Ries, diese Zeitschr. 1906, **41**, 247 und 248.

3) A. Ries, diese Zeitschr. 1911, **49**, 549.

4) Von Wyrouboff in Bull. Soc. min. de France 1880, **3**, 143 beschrieben. Ausz. diese Zeitschr. **8**, 630.

müssen im ganzen 32 Zwillingsgesetze, wovon 18 homoaxial, existieren können, die wohl im einzelnen unmöglich zu deuten sein würden. Von solchen Krystallen kennt man sehr wenige Beispiele; Brögger[1]) beschreibt den körnigen Analcim (Eudnophit) als aus triklinen Einzelindividuen bestehend; doch sind die Verhältnisse bei diesem Mineral sicher so unregelmäßig, daß es als optisch anomal betrachtet werden muß. Von künstlichen Substanzen gehört hierher das Salz $2[12WO_3.SiO_2]3(Y,Er)O.H_2O$, 50 aq.[2]), dessen Zwillingsbildungen jedoch nicht näher beschrieben sind.

Im rhombischen System kann man dieselben zwei Abteilungen wie im monoklinen unterscheiden. Die erste Abteilung, wo der Würfel wie im Kryolith aus Basis und Prisma gebildet wird, soll hier etwas näher betrachtet werden, da wir bei der Untersuchung von Perowskit und Boracit mehr damit zu tun haben werden. Um die möglichen Gesetze zu finden, reduciert man am einfachsten diejenigen des monoklinen Systems auf das rhombische; man wird dann unmittelbar sehen, daß {001} und {100} nicht mehr als Zwillingsebenen existieren können; {112} und $\{11\bar{2}\}$[3]) fallen zusammen, ebenso [111] und $[11\bar{1}]$. Die beiden zueinander reciproken Gesetze {110} und [110] werden identisch und im folgenden stets mit dem gewöhnlichen Namen {110} bezeichnet. Complicierter ist die Überführung der beiden heteroaxialen Gesetze; die Zwillingsbildung nach dem neuen Gesetz ließ sich beim Kryolith construieren durch eine Drehung von beinahe 90° um eine auf {110} senkrechte Axe, bis eine Kante von [110] des einen Individuums mit einer solchen [001] des anderen zusammenfiel, oder umgekehrt; diese beiden Stellungen waren nicht identisch, obgleich einander sehr naheliegend, und es entstand so ein Kampf zwischen ihnen, der darin resultierte, daß der Krystall eine zwischenliegende Stellung einnahm. Im rhombischen System werden diese beiden Stellungen identisch, und es wird sich dann ein »doppelt heteroaxialer« Zwilling bilden können, d. i. ein heteroaxialer Zwilling, an welchem zwei Paare von ungleichwertigen Axen zusammenfallen. Man sollte a priori glauben, daß ein solcher eine große Stabilität besitzen würde; es ist aber dazu zu bemerken, daß er in der Lage der Individuen sich dem Zwilling nach [111] stark nähern muß, und es wird dann zwischen diesen beiden Gesetzen ein Kampf eintreten. Beide lassen sich leicht durch den Verlauf der Zwillingsgrenzen unterscheiden, denn der heteroaxiale Zwilling muß seine Verwachsungsfläche parallel {110} haben, während diese für den Zwilling nach [111] irrational sein muß. Es zeigt sich nun, daß beim Perowskit

1) Diese Zeitschr. 1880, **16**, 569 ff.

2) Wyrouboff, Bull. Soc. min. de France 1896, **19**, 303. Ausz. diese Zeitschr. **29**, 670.

3) Hier wird überall vorausgesetzt, daß das Axenverhältnis ähnlich wie beim Kryolith gewählt wird.

und Boracit nur diese irrationale Grenze vorkommt, und es zeigt sich also auch hier, wie ich früher (S. 403) bemerkt habe, daß ein heteroaxialer Zwilling in unmittelbarer Nähe eines homoaxialen nicht leicht existieren kann. Auch an anderen Substanzen ist diese heteroaxiale Zwillingsbildung nicht bekannt. Der Zwilling nach Baumhauer's Gesetz wird im rhombischen System beinahe mit dem Zwilling nach {112} zusammenfallen. Es werden also in der hier behandelten Abteilung nur drei bestimmt getrennte Zwillingsbildungen existieren können, nämlich {110}, die mit sich selbst reciprok ist, und die gegenseitig reciproken {112} und [111]. Dies Schema ist vollständig vertreten im Perowskit und im Boracit, wie später gezeigt werden soll, vielleicht auch im Senarmontit, wo die Verhältnisse jedoch nicht so klar liegen. Zu dieser Abteilung gehört auch das Calciumaluminat $3Al_2O_3.4CaO.3H_2O$ [1]), dessen Zwillingsbildung nach der Fläche {111} (entsprechend dem, was wir oben {112} genannt haben) stattfinden muß; ferner die Verbindung $FeCl_3.2NH_4Cl.H_2O$ [2]), die die Zwillingsbildung [111] besitzt, außer einer solchen nach [101], die den gewöhnlichen Oktaëderzwillingen entspricht.

In der zweiten rhombischen Gruppe, wo der Würfel von den drei Pinakoiden repräsentiert wird, gibt es von homoaxialen Zwillingen die drei nach {110}, {011} und {101}; es läßt sich indessen auch eine heteroaxiale Zwillingsbildung denken, die sich durch eine Drehung von 120° um die pseudodreizähligen Axen definieren läßt und die mit den anderen Gesetzen nicht näher zusammenfällt. Zu dieser Abteilung gehört der Perowskit vom Wildkreuzjoch, von welchem angegeben wird, daß er schräg verlaufende Lamellen besitzt, ohne daß die Lage derselben näher bestimmt ist. Ferner vielleicht der Leucit, der jedoch im höchsten Grade optisch anomal ist und ebensooft zu dem tetragonalen System gerechnet wird. Analcim scheint auch bisweilen hierher zu gehören, ist aber wohl noch mehr anomal ausgebildet. Die Verbindung $W_{12}SiO_{42}Ba_3Na_2.28H_2O$ [3]) bildet regelmäßige oktaëderähnliche Krystalle mit Sectorenstructur; doch ist die Zugehörigkeit zum rhombischen System hier zweifelhaft, und es ist wohl überhaupt unsicher, ob nicht rein optische Anomalien vorliegen.

Wenn die Subindividuen tetragonal sind, kann es nur eine Abteilung geben; wird der tetragonale Krystall so aufgestellt, daß der Würfel von {100} und {001} repräsentiert wird, so gibt es nur das eine Gesetz {101}; wenn dagegen {001} und {110} den Würfel bilden, heißt dieses Zwillings-

---

1) Friedel, Bull. Soc. min. de France 1903, **26**, 121. Ausz. diese Zeitschr. **41**, 181.

2) Johnsen, N. Jahrb. f. Min., Geol. usw. 1903, **2**, 97. Ausz. diese Zeitschr. **41**, 525.

3) Marignac, Ann. chim. phys. 1864, **3**, 57.

gesetz {112} (oder vielleicht {111}, wenn die Hauptaxe halb so lang gewählt wird). Diese verhältnismäßig sehr einfache Structur findet sich vielleicht im Christobalit, der noch nicht näher beschrieben ist, ferner im Leucit, der jedoch möglicherweise rhombisch ist, und im Braunit, der allerdings keine typische polysynthetische Structur besitzt. Eine feine Sectorenstructur kommt in einigen künstlichen Substanzen vor, z. B. dem roten Jodquecksilber[1]), der Verbindung $UO_2F_5K_3$[2]) und dem Berylliumsulfat, $SO_4Be.4H_2O$[3]). Eine Lamellenstructur besitzt das Magnesiumhypophosphit, $Mg(H_2PO_2)_2.6H_2O$[4]), das dimorph ist, indem es bei etwa 100° isotrop wird und dann nach der Abkühlung von Zwillingslamellen nach {101} dicht durchsetzt wird; die isomorphen Salze von *Co, Ni* und *Zn* sind schon vor der Erwärmung lamelliert.

Es kommen endlich auch pseudoreguläre Krystalle mit rhomboëdrischen Einzelindividuen vor. Von polysynthetischen Zwillingsgesetzen kann man hier zwei erwarten, nämlich nach einem würfelähnlichen Rhomboëder und nach einem solchen, das die Kanten derselben abstumpft, also dem Rhombendodekaëder entspricht; da das erstere gewöhnlich zum Grundrhomboëder {100} gemacht wird, muß das zweite als {110} bezeichnet werden. Merkwürdigerweise scheint dieses zweite Gesetz überall zu fehlen; ich kenne wenigstens keine Beispiele, wo es sicher realisiert ist. Von Mineralien, die zu dieser Classe gehören, können wohl nur diejenigen der Korund-Hämatitgruppe und der Chabasit genannt werden; diese besitzen jedoch alle in ihren Winkeln größere Abweichungen von dem regulären System, als es mit dem Begriff Pseudosymmetrie im gewöhnlichen Sinne dieses Wortes vereinbar ist. Von künstlichen Substanzen findet sich eine regelmäßige Sectorenstructur bei der Verbindung $As_2Br_9Cs_3$[5]), teilweise auch bei den entsprechenden Chlor- und Rubidiumverbindungen. Weniger ausgeprägt ist die Kieselwolframsäure $SiW_{12}O_{40}H_4$, 31 aq[6]), die jedoch auch in einigen Fällen einen regulären Habitus und Zwillingsbildung nach {100} besitzen kann. Das Carborundum, dessen Winkel fast genau mit den regulären identisch sind (Rhomboëderwinkel = 89°56$\frac{2}{3}$′) und das auch Zwillinge nach {100} oder vielleicht nach {110})[7]) besitzt, hat dagegen einen vom regulären ganz abweichenden Habitus.

1) Taubert, Centralbl. f. Min. 1902, 366. Ref. diese Zeitschr. **40**, 419.

2) Baker, Journ. Chem. Soc. London 1879, **35**, 760. Ref. diese Zeitschr. **6**, 641.

3) Wulff, diese Zeitschr. 1890, **17**, 592.

4) Beckenkamp, diese Zeitschr. 1903, **37**, 618.

5) Wheeler, Amer. Journ. of Sci. 1893, **46**, 94. Ref. diese Zeitschr. **25**, 104.

6) Marignac, Ann. chim. phys. 1864, **3**, 5 und Wyrouboff, Bull. Soc. Fr. de Min. 1896, **19**, 231. Ref. diese Zeitschr. **29**, 659.

7) Becke, diese Zeitschr. 1895, **24**, 540.

In vorstehender Übersicht über die Zwillingsbildungen in den pseudoregulären Krystallen ist das Verhältnis nicht berücksichtigt worden, daß die Einzelindividuen hemiëdrisch oder tetartoëdrisch sein können; wenn dies der Fall ist, müssen natürlich viel mehr Gesetze existieren können, die sich am besten durch Ätzfiguren constatieren lassen würden. Hierdurch werden die Verhältnisse wesentlich complicierter und sind auch in keinem einzigen Falle näher untersucht worden, obgleich man doch bestimmte Beispiele hat, u. a. den Boracit, wo die Einzelindividuen sicher hemiëdrisch (hemimorph) sind. Diejenigen Zwillinge, die unmittelbar durch die Hemiëdrie bedingt werden, also die sogenannten Ergänzungszwillinge, können sicher nicht durch Gleitung hervorgebracht worden sein, da sie mit keiner wirklichen Parallelverschiebung der Partikelchen verbunden sein können; dagegen können sie wohl sehr gut in den primären Zwillingscomplexen vorhanden sein.

IV. Die Structur des Perowskits.

Der erste, der die Doppelbrechung dieses Minerals beschrieben hat, ist Des Cloizeaux[1]; er hat speciell Krystalle von Zermatt untersucht, und es scheint nicht, daß er eine polysynthetische Structur gefunden hat, da er nur solche Schliffe, die senkrecht zu einer optischen Axe stehen, beschreibt; aus deren Lage und übrigen Verhältnissen schließt er, daß die »Primitivform« des Perowskits ein rechtwinkeliges rhombisches Prisma und daß der optische Axenwinkel beinahe 90° sein muß, sodaß man die spitze Bisectrix nicht von der stumpfen unterscheiden kann; doch wird angegeben, daß $\varrho > v$ ist. Der helle Perowskit vom Ural soll sich wie das Mineral von Zermatt verhalten, während der schwarze für regulär gehalten wird; das Mineral ist also dimorph.

Daß künstliche Perowskitkrystalle ebenfalls doppeltbrechend sind, wird von Hautefeuille[2] nachgewiesen.

Kenngott[3] vermutet, daß der Perowskit, in Analogie mit Titaneisen, rhomboëdrisch krystallisiert; dies widerspricht jedoch ganz den Angaben von Des Cloizeaux. Dieser bestimmt später[4] den optischen Axenwinkel zu 87°55′, schwach steigend mit der Temperatur; die Doppelbrechung ist positiv.

Hessenberg[5] beschreibt einen Perowskit vom Wildkreuzjoch in Tirol, von welchem Vorkommen damals nur ein einziger Krystall bekannt war;

1) Ann. des Mines 1858, Ser. 5, **14**, 417.
2) Ann. de Chim. et Phys. 1864, **4**, 163.
3) Minerale der Schweiz 1866, 237.
4) Nouvelles recherches 1867, 84.
5) Min. Notizen, N. F., 1871, 7. Heft, 38.

wenn es sich auch nicht direct beweisen läßt, daß dieser und andere nachher gefundene wirklich Perowskit sind, macht doch die vollkommene Übereinstimmung in Form und anderen äußeren Eigenschaften dies recht wahrscheinlich. Hessenberg findet indessen, daß er ein einaxiges Axenbild gibt.

v. Kokscharow[1]) zeigt, daß die beiden uralischen Perowskitvarietäten nicht wesentlich verschieden sind, da beide in ihren Winkeln vollkommen regulär sind.

Durch eine Untersuchung des früher erwähnten Krystalls vom Wildkreuzjoch findet Des Cloizeaux[2]), daß er nicht ein-, sondern zweiaxig ist mit einem Axenwinkel von ca. 40°; die spitze Bisectrix steht senkrecht auf der regulären Würfelfläche; es finden sich nur diagonale Lamellen, während diese in dem gewöhnlichen Perowskit meist parallel den Würfelkanten verlaufen. Die angegebenen Beobachtungen zeigen deutlich, daß der Perowskit vom Wildkreuzjoch zur zweiten rhombischen Gruppe gehören muß. v. Kokscharow[3]) versucht ebenfalls zu zeigen, daß der uralische Perowskit auf dieselbe Weise gebaut ist, was jedoch gar nicht mit den von Des Cloizeaux angegebenen optischen Verhältnissen stimmt, wie auch nicht die angegebenen Zwillingsgesetze {011} und {101} sich durch mikroskopische Untersuchung constatieren lassen. Was v. Kokscharow für Zwillingsgrenzen hält, sind sicher nur zufällige Grenzen zwischen Combinationsstreifen verschiedener Richtung. Des Cloizeaux zeigt auch in einer späteren Abhandlung[4]), daß v. Kokscharow die Krystalle unrichtig orientiert haben muß und hebt den großen Unterschied zwischen den Krystallen von den beiden Vorkommen hervor. Noch in demselben Jahre[5]) beschreibt Des Cloizeaux rhombendodekaëdrische Schliffe vom Perowskit von Zermatt; er findet es hier sehr merkwürdig, daß er an einem Schliffe regelmäßige Lemniscaten beobachtet, am anderen nicht. Dies läßt sich jedoch leicht dadurch erklären, daß der Perowskit nicht wie der Boracit eine regelmäßige, sondern im Gegenteil eine recht zufällige Sectorenstructur besitzt, wodurch die verschiedenen Dodekaëderflächen also bald die rhombische Form {010}, bald {101} oder {112}[6]) repräsentieren können.

---

1) Mat. zur Mineralogie Rußlands 1870, **6**, 388.

2) N. Jahrb. f. Min. usw. 1877, 160.

3) Mat. zur Mineralogie Rußlands 1875, **7**, 375. (Der Abschnitt über Perowskit muß jedoch nach dem obenerwähnten Artikel von Des Cloizeaux im Jahre 1877 geschrieben sein.)

4) N. Jahrb. f. Min. usw. 1878, 43.

5) N. Jahrb. f. Min. usw. 1878, 372.

6) Hier, wie überall im folgenden wird ein ähnliches Axenverhältnis wie beim Kryolith gebraucht; das Dodekaëder repräsentiert also die genannten Flächen, das Oktaëder {101} und {011}.

Einen wesentlichen Beitrag zur Kenntnis des Minerals liefert Baumhauer[1]), welcher Ätzfiguren benutzt, um den Bau des Perowskits zu deuten. Nach seiner Beschreibung stimmt die Symmetrie der Figuren mit rhombischem Prisma und Basis überein; wie aber Klocke[2]) nachgewiesen hat, zeigen die Figuren Baumhauer's eine davon abweichende Symmetrie. Was die Zwillingsgesetze betrifft, so kann man durch Ätzung die recht naheliegenden {112} und [111] nicht voneinander unterscheiden, weshalb Baumhauer auch das letztgenannte nicht beobachtet hat, obgleich er auch Dünnschliffe untersuchte[3]). Das Phänomen, daß die Partien, die parallel dem rhombischen Prisma orientiert sind, beinahe einfachbrechend sind, erklärt Baumhauer als von einer Einlagerung von ganz dünnen Lamellen herrührend; doch gibt er nicht näher an, worauf er diese Hypothese, die gar nicht mit den schon von Des Cloizeaux beobachteten wirklichen Verhältnissen übereinstimmt, stützt.

In einer großen Abhandlung[4]) behauptet Ben Saude die Theorie, daß die Lamellen des Perowskits nicht durch Zwillingsbildungen, sondern durch molekulare Spannungen hervorgebracht worden sind. Als ein Hauptgrund dafür wird angeführt (S. 16), daß kleine Spalten im Krystalle Verwerfungen in den Lamellen hervorbringen; ferner (S. 27), daß die Grenzen durch Erwärmung verschoben werden, was bei Zwillingsgrenzen nicht möglich sein soll[5]); speciell wird darauf Gewicht gelegt, daß die Ätzfiguren, die vor der Verschiebung mit der einen Sorte von Lamellen stimmen, nach dieser auf die andere Sorte zu liegen kommen, auf welchen sie ursprünglich gar nicht gebildet werden können. Wenn man jedoch bedenkt, daß es z. B. beim Kryolith möglich ist, ganze Flächencomplexe in unnormale, d. h. solche, die sich gar nicht an dem ursprünglichen Krystalle bilden können, umzuwandeln, scheint es nicht so merkwürdig zu sein, daß dasselbe mit den kleinen Flächen, die die Ätzfiguren begrenzen, der Fall sein kann, ohne daß deren Form wesentlich verändert wird.

Unter diesen Verhältnissen läßt es sich nicht erwarten, daß Ben Saude

1) Diese Zeitschr. 1880, 4, 187.

2) Ref. im N. Jahrb. f. Min. usw. 1880, 2, 139.

3) Übrigens gibt Baumhauer das beste Structurbild bei v. Kokscharow (Mat. z. Min. Rußlands 1878, 8, 41). Von den drei dunklen Lamellen in der Figur sind die beiden oberen nach {112}. Sie dürften mit unscharfen Grenzen gezeichnet worden sein, statt dessen sind die Grenzen aber unregelmäßig geworden, was sie meistens gar nicht sind. Die untere Lamelle ($\infty P_{(1)}$) muß eine Zwillingsbildung nach [111] sein, wenigstens sieht man durch Beobachtung der Streifenrichtungen, daß sie nicht eine solche nach {112} sein kann; doch sollte diese Lamelle nicht parallel den Würfelkanten verlaufen, sondern davon um 7° abweichen.

4) Über den Perowskit, Göttingen 1882. Ausz. diese Zeitschr. 7, 612.

5) Hierzu soll jedoch bemerkt werden, daß der Kryolith ganz ähnliche Verhältnisse zeigen kann.

etwas neues zur Erklärung der Zwillingsbildungen des Perowskits beigebracht haben kann. Er hat, wie er auch selbst bemerkt (S. 29), unter mehr als 100 Präparaten keines gefunden, das deutlich die Anordnung der aufbauenden Partikel zeigte. Auch der Krystall vom Wildkreuzjoch ist von Ben Saude (S. 30) und von Klein (ebenda S. 33) untersucht worden; der letztere erklärt die Nichtübereinstimmung zwischen den früheren Beobachtungen damit, daß die Substanz selbst zweiaxig ist und nur durch das Übereinandergreifen verschiedener Individuen einaxig wird.

Noch in demselben Jahre beschreibt Mallard[1]) das Verhalten des Perowskits bei der Erwärmung und nimmt bestimmt Abstand von der Theorie Ben Saude's.

Um die oben besprochene schiefe Lage der Ätzfiguren auf den Zeichnungen von Baumhauer zu erklären, welches Verhältnis beobachtet zu haben ebenfalls Ben Saude bestimmt behauptete, stellte Tschermak[2]) die Theorie auf, daß die Einzelindividuen monoklin seien und daß der Würfel von den drei Pinakoiden repräsentiert werde. Hierdurch läßt sich wohl die genannte Schiefe erklären (wenn die Figuren nämlich auf {010} sich finden); gleichzeitig muß man aber eine Menge von Symmetrieelementen, die gar nicht im monoklinen System notwendig sind, annehmen, wodurch die ganze Theorie außerordentlich unwahrscheinlich wird. Indessen behauptet Baumhauer[3]) selbst, daß diese Schiefe der Ätzfiguren nur durch eine Ungenauigkeit von seiten des Lithographen hereingekommen ist, während Klein[4]) ebenso bestimmt behauptet, daß sie wirklich existiert. In einer späteren Abhandlung[5]) bestimmt Klein qualitativ (an 5 mg) die Existenz von *Ti*, *Ca* und *Fe* im Perowskit vom Wildkreuzjoch und zeigt nochmals, daß dieser im Gegensatz zu allen anderen zur zweiten rhombischen Classe (S. 406) gehört.

In den folgenden 24 Jahren wird nichts wesentliches über das Mineral veröffentlicht. Bourgeois[6]) stellt die entsprechende Baryum- und Strontium, verbindung dar, von welchen die erstere teilweise stark doppeltbrechend beinahe von demselben Typus wie der Perowskit vom Wildkreuzjoch, gleichzeitig aber sehr unnormal ist, mit unregelmäßig verteilten, beinahe isotropen Partien, während die Strontiumverbindung ganz durchaus schwach doppeltbrechend ist. Williams[7]) beschreibt zum erstenmal isotropen Perowskit als ganz kleine gelbe Krystalle in Peridotit, die durch Analyse ganz

1) Bull. Soc. min. de France 1882, **5**, 233. Ausz. diese Zeitschr. **9**, 404.
2) Tschermak's min. u. petr. Mitt. 1882, **5**, 194.
3) Diese Zeitschr. 1883, **7**, 612.
4) N. Jahrb. f. Min. usw. 1884, **1**. Ref. S. 180.
5) N. Jahrb. f. Min. usw. 1884, **1**, 245.
6) Bull. Soc. min. de France 1886, **9**, 244. Ref. diese Zeitschr. **14**, 280.
7) Amer. Journ. Sci. 1887, **34**, 137. Ref. diese Zeitschr. **14**, 394.

sicher bestimmt wurden. In anderen Fällen, wo der Perowskit in mikroskopischen Körnern als gesteinsbildend gefunden wurde, ist er meistens doppeltbrechend. Fedorow[1]) ordnet sowohl den regulären als den rhombischen Perowskit in sein Structursystem ein und schlägt für den ersteren den Namen Metaperowskit vor. Des Cloizeaux[2]) stellt viele neue Untersuchungen über das Mineral an, die jedoch nicht viel Neues bringen; er veranschaulicht die Verhältnisse dadurch, daß er sich den ganzen Krystall aus zwölf (oder vielleicht 24) Pyramiden mit den Dodekaëderflächen als Grundflächen aufgebaut denkt. Ferner gibt er an, daß er horizontale Dispersion findet, was auf monokline Symmetrie deuten sollte[3]). Des Cloizeaux bezweifelt stark, daß das Mineral vom Wildkreuzjoch wirklich Perowskit ist. Holmquist[4]) beschreibt den Bau des künstlichen Perowskits näher, der aus sechs, acht oder zwölf Individuen zusammengesetzt gedacht wird; jedes Individuum für sich soll dann wieder aus äußerst feinen, verschieden orientierten Lamellen aufgebaut sein[5]).

Mügge[6]) hat constatiert, daß die Doppelbrechung bei schwacher Rotgluthitze nicht verschwindet; wie es bei größerer Wärme ist, läßt sich nicht direct beobachten; Mügge schließt aber aus dem Umstand, daß die Lamellen sich nicht von ihrem Platz entfernt haben, daß es nicht wahrscheinlich ist, daß eine Umwandlung erfolgt sein kann. Wenn man bedenkt, wie regelmäßig die Lamellen z. B. im Boracit und Katapleït nach der Umwandlung zurückkehren, scheint dieser Schluß nicht sehr berechtigt zu sein.

Ein sehr wertvoller Beitrag zur Kenntnis des Minerals wird von Bowman[7]) gegeben; er beschreibt Perowskit von der Burgumer Alp, die am Fuße des Wildkreuzjoches liegt und möglicherweise mit dieser Lokalität identisch sein kann, obgleich die Krystalle ganz mit dem gewöhnlichen

---

1) Diese Zeitschr. 1892, **20**, 74.

2) Bull. Soc. min. de France 1893, **16**, 218. Ref. diese Zeitschr. **25**, 317.

3) Dies bestätigt jedoch die Theorie von Tschermak nicht, die geneigte Dispersion verlangen sollte.

4) Bull. geol. Inst. Upsala für 1896—1897; 1898, **3**, 181—268.

5) Es scheint recht unverständlich zu sein, wie Holmquist und früher auch v. Kokscharow sich denken können, daß polysynthetische Complexe in gegenseitiger Zwillingsstellung stehen können nach einem Gesetze, das selbst zu denjenigen, die die polysynthetische Structur hervorbringen, gehört. Es würde beinahe derselbe Fall sein, als wenn z. B. zwei Mikroklinkrystalle von dem gewöhnlichen Bau wiederum Zwillinge nach dem Albitgesetz sein sollten. Die Einteilung in acht Individuen, die in der Fig. 19 Holmquist's gegeben wird, stimmt nicht mit der rhombischen Symmetrie des Perowskits, da wenigstens eine der Begrenzungsebenen von jedem Subindividuum der Basis angehören muß.

6) Centralbl. f. Min. 1908, 36. Ausz. diese Zeitschr. **49**, 413.

7) Min. Magazine 1908, 156. Ausz. diese Zeitschr. **48**, 670.

Typus übereinstimmen. Bowman beschreibt sehr gründlich die Ätzfiguren, die er ganz wie die von Baumhauer beschriebenen, also ganz der rhombischen Symmetrie entsprechend findet. Zum erstenmal wird hier das Phänomen beschrieben, daß die Zwillingsgrenzen zwischen zusammenstoßenden Arealen von {001} und {110} nicht mit den Würfelkanten parallel sind; die Abweichung wird aber recht variierend (0°—8°) gefunden, wodurch diese Schiefe ihre krystallographische Bedeutung verliert. Die Zwillingsbildung wird durch eine Drehung von 90° um die Normale zu {110} erklärt; wie oben (S. 405) gesagt worden ist, muß ein solches Gesetz jedoch eine Grenze, die mit {110} parallel ist, hervorbringen. Einzelne Phänomene, die von Bowman als nicht mit der rhombischen Symmetrie stimmend hervorgehoben werden, sollen hier nicht näher besprochen werden, da Bowman selbst darauf kein großes Gewicht zu legen scheint und die Phänomene wohl auch leicht anders erklärt werden können.

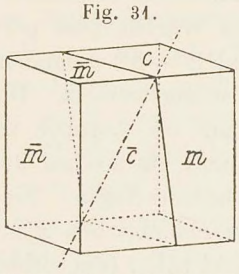
Nach den bisherigen Untersuchungen scheint es im ganzen unzweifelhaft, daß das Mineral wirklich rhombisch ist; namentlich stimmen die Ätzfiguren und die optischen Verhältnisse gut damit überein, und wie unten gezeigt werden soll, ist dasselbe mit den krystallographischen Verhältnissen der Fall. Um in einer so complicierten Substanz die Elemente durch Winkelmessungen bestimmen zu können, ist es notwendig, zuerst die Zwillingsgesetze zu kennen, weil jede Fläche von sehr vielen Lamellen durchsetzt ist; daraus folgt, daß eine Messung der Flächenwinkel, wie sie gewöhnlich vorgenommen wird, kein brauchbares Resultat liefern kann; man muß die Winkel, die von den einzelnen kleinen Flächenelementen gebildet werden, messen. Die optische Untersuchung zeigt indessen ganz deutlich, daß der gewöhnliche Perowskit die drei Gesetze, die man erwarten muß, nämlich {110}, {112} und [111], besitzt.

Als Untersuchungsmaterial habe ich die großen und wohlausgebildeten uralischen Krystalle benutzt, die schon auf der Oberfläche verhältnismäßig breite und deutliche Zwillingslamellen zeigen. Ich habe auch Präparate aus den Krystallen von Zermatt und Arkansas verfertigt, die jedoch wesentlich auf dieselbe Weise, obgleich mit viel kleineren Lamellen, aufgebaut sind. Ich habe ausschließlich Würfelschliffe untersucht, da diese vollkommen sicher den Bau der Krystalle zeigen und viel anschaulicher als die anderen sind. Die Figuren sind wie beim Kryolith so orientiert, daß die Spuren der anderen Würfelflächen gerade (senkrecht und wagerecht) stehen.

Das in der Taf. VII, Fig. 4 abgebildete Präparat zeigt wesentlich zwei Systeme von Lamellen, die teils horizontal mit unscharfen Grenzen, teils vertical mit scharfen Grenzen verlaufen. Beide bestehen aus abwechselnd dunklen und hellen Streifen, von welchen die dunklen die rhombischen Prismenflächen, die hellen die Basis repräsentieren; nach der Prismenfläche ist der Perowskit nämlich beinahe einfachbrechend, während er nach der Basis sehr stark doppel-

brechend ist. Die horizontalen Lamellen rühren von Zwillingsbildung nach {112} her, welche Fläche einen Winkel von ca. 45° mit der Ebene des Schliffes bildet; die Richtung dieser Lamellen muß im Schliffe genau parallel der Würfelkante sein. Die senkrechten Lamellen werden dagegen von dem Zwillingsgesetz [111] hervorgebracht, dessen Grenzfläche keine rationale Ebene ist, sondern eine solche Lage, wie auf Fig. 31 wiedergegeben ist, einnimmt. Sie ist am nächsten der Fläche {110} parallel, weicht aber doch deutlich von dieser ab, was sich dadurch zeigt, daß ihre Spur auf {110} und {001} mit einer ganz bestimmten Schiefe im Verhältnis zu den Krystallkanten verläuft. Da diese selbst oft in den Präparaten nicht sichtbar sind, läßt die Schiefe sich am leichtesten im Verhältnis zu den Zwillingslamellen nach {110} bestimmen, die genau parallel den Würfelkanten verlaufen. Es zeigt sich dann, daß die Schiefe überall, wo die Lamellen regelmäßig ausgebildet sind, recht constant ist, nämlich im Durchschnitt 7°, indem die Variationen selten mehr als 1° nach jeder Seite sind.

Fig. 31.



Schematisches Bild von der Zwillingsbildung [111] im Perowskit.

Außer den beiden Hauptrichtungen in dem Präparat (Fig. 4) ist oben auch ein senkrechter Streifen mit unscharfen Grenzen sichtbar, der, wie die horizontalen Streifen, von einer Zwillingsbildung nach {110} herrührt. Beide Richtungen stehen beinahe senkrecht aufeinander, indem die Abweichung vom rechten Winkel nur ca. 40° ausmacht. Andere Zwillinge treten auf dem Bilde nicht auf; dagegen zeigt es sich bei näherem Zusehen, daß das Präparat überall von ganz dünnen Lamellen nach {110} durchsetzt ist, die in größerer Zahl als die beiden anderen sich finden, aber sehr schwach hervortreten, da sie keine Veränderung in den Polarisationsfarben oder Auslöschungsrichtungen hervorbringen; erst durch Verwendung eines Gypsblättchens werden sie deutlicher sichtbar. Diese Lamellen sind in Fig. 5, Taf. VII zu sehen, und man bemerkt hier zugleich den Unterschied zwischen der Richtung dieser Lamellen und der breiteren nach [111], während sie dagegen mit der unscharfen, senkrecht verlaufenden Lamelle nach {112} parallel sind. Die Lamellen nach {110} können, wie man sich denken kann, auf {001} in zwei beinahe senkrechten Richtungen (parallel {110} und {1$\bar{1}$0}) verlaufen; in der Figur tritt nur die eine davon hervor, während man im Präparate selbst oft die andere, obgleich weniger gut ausgebildet, sieht. Auf {110} (die dunklen Streifen) können diese Lamellen nur in einer Richtung gehen, sie treten aber auf dem Bilde nicht hervor, wie sie auch im Präparate selbst sehr undeutlich sind, was auch von den auf {110} diagonal verlaufenden Lamellen nach {112} gilt.

Das Präparat, das in der Taf. VII, Fig. 6 abgebildet ist, zeigt mehrere

horizontal verlaufende, unscharfe Lamellen nach {123} und außerdem zahlreiche, verticale nach [111]; man findet aber auch links eine breite, horizontale Lamelle nach demselben Gesetz, die einen Winkel von 76° mit den verticalen Lamellen derselben Sorte bilden muß. Im obersten Teil des Bildes werden auf dem dunklen Grunde (nach {110}) feine weiße Streifen gesehen, die auch von Lamellen nach [111] herrühren; sie gehen in zwei verschiedenen Richtungen, die miteinander einen Winkel von 14° bilden.

Die Untersuchung der Dünnschliffe bestätigt also in allen Beziehungen die Existenz der drei möglichen Gesetze, wenn man von der für das Gesetz [111] angegebenen Lage der Grenze ausgeht; diese Lage muß sich jedoch auch aus den krystallographischen Elementen des Perowskits berechnen lassen können, nur muß man, um dies tun zu können, wie oben erörtert wurde, sich damit begnügen, die Winkel zwischen den ganz kleinen Flächenstücken, die die Lamellen bilden, zu messen. Wegen der ausgezeichneten Flächenbeschaffenheit des uralischen Perowskits kann man nach dieser Methode so genaue Resultate erhalten, daß die Abweichung zwischen verschiedenen gemessenen Werten für denselben Winkel und zwischen den berechneten und gefundenen Werten niemals sehr groß wird.

Die Lamellensysteme, die auf der Oberfläche der Krystalle hervortreten sind die folgenden:

1. Die Lamellen nach {110} auf den Flächen von {110}; diese Lamellen sind, wie früher gesagt, in der Regel verhältnismäßig dünn und geben deshalb nicht so gute Reflexe wie die übrigen; auf der Oberfläche von {001} bringt dieses Gesetz natürlich keine Lamellen hervor.

2. Diejenigen Lamellen nach {112}, die auf den anscheinenden Würfelflächen parallel den Kanten verlaufen, und im rhombischen Krystalle Abwechslung zwischen {110} und {110} hervorbringen. Diese Lamellen sind oft recht breit, sind aber außerordentlich schwer sichtbar wegen des ganz schwach hervortretenden Reliefs.

3. Diejenigen Lamellen nach {112}, die parallel den Diagonalen der Würfelflächen verlaufen und ausschließlich von den rhombischen Prismenflächen gebildet werden; sie sind in der Regel wohlausgebildet und deutlich.

4. Die Lamellen nach [111], die, wie gesagt, schief verlaufen und durch abwechselnde Flächen von {001} und {110} gebildet werden; sie sind die am besten ausgebildeten von allen Systemen.

Von den vier verschiedenen Winkeln, die in den oben genannten Systemen gefunden werden, kann man zwei beliebige als Fundamentalwinkel für die Berechnung der Elemente brauchen; statt des einen ist es jedoch besser den Winkel von 7°, den die Lamellen von [111] mit der Kante zwischen {110} und {001} bilden, zu benutzen, da dieser Winkel, ebenso wie derjenige des bekannten »rhombischen Schnittes« bei Plagioklas sehr

empfindlich ist. Durch Benutzung dieses Winkels und des Systems 4 erhält man dann das folgende Axenverhältnis:

$$a : b : c = 0{,}9881 : 1 : 1{,}4078.$$

Für die vier Lamellensysteme sind die folgenden Winkel gefunden und berechnet worden:

System	Gefunden	Berechnet
1	$1^0 19\frac{1}{2}'$ ($1^0 15\frac{1}{2}'$—$1^0 25\frac{1}{2}'$)	$1^0 22'$
2	$0\ 3\frac{1}{2}$ ($0\ 3$ —$0\ 4$)	$0\ 5$
3	$0\ 57\frac{1}{2}$ ($0\ 54$ —$1\ 2$)	$0\ 58$
4*	$0\ 41$ ($0\ 37$ —$0\ 45$)	—

Die Flächencombinationen des rhombischen Perowskits müssen sehr compliciert sein, da wahrscheinlich jedes Individuum am Aufbau aller an dem Krystalle vorkommenden Flächen teilnehmen muß, und man ja für das Mineral sehr viele pseudoreguläre Formen kennt. Es hat indessen keinen Zweck, alle diese Formen in das rhombische System umzurechnen, da man nicht weiß, welche von den rhombischen Formen primär und welche secundär sind. Wenn das Mineral ursprünglich in regulärem Zustande gebildet wird, worauf die ganze Structur am nächsten deutet, sind alle rhombischen Formen secundär, und man weiß gar nicht, wie der rhombische Krystall eigentlich aussieht; wenn es dagegen als rhombisch gebildet ist, muß wenigstens eine der Formen, die jede anscheinend reguläre Einzelform bilden, primär sein; welche diese ist, kann man gar nicht wissen. Wir sahen beim Kryolith, wie jede einzelne Fläche durch secundäre Zwillingsbildungen in eine ganze Reihe von anderen umgewandelt werden kann; dies konnte aber nur durch Untersuchung von Einzelkrystallen oder primären Zwillingen constatiert werden. Beim Perowskit hat man dagegen nur einen Complex von sicher secundären Lamellen.

$a = 0{,}9881$	$\lg a = 999482$	$\lg a_0 = 984628$	$\lg p_0 = 015372$	$a_0 = 0{,}7019$	$p_0 = 1{,}4247$
$c = 0{,}4078$	$\lg c = 014854$	$\lg b_0 = 985145$	$\lg q_0 = 014854$	$b_0 = 0{,}7103$	$q_0 = 1{,}4078$

Nr.	Buchstab.	Symbol	Miller	φ	ϱ	ξ_0	η_0	ξ	η	x $(x:y)$	y	$d =$ tg ϱ
1	c	0	(001)	—	$0^0\ 0'$	$0^0\ 0'$	$0^0\ 0'$	$0^0\ 0'$	$0^0\ 0'$	0	0	0
2	b	0∞	(010)	$0^0\ 0'$	90 0	»	90 0	»	90 0	»	∞	∞
3	a	$\infty 0$	(100)	90 0	»	90 0	0 0	90 0	0 0	∞	0	»
4	m	∞	(110)	45 20	»	»	90 0	45 20	44 40	1,0121	∞	»
5	r	01	(011)	0 0	54 37	0 0	54 37	0 0	54 37	0	1,4078	1,4078
6	v	10	(101)	90 0	54 56	54 56	0 0	54 56	0 0	1,4247	0	1,4247
7	x	$\frac{1}{2}$	(112)	45 20	45 2	35 38	35 8	30 13	29 50	0,7123	0,7039	1,0015

In der Tabelle auf S. 416 unten werden nur die Winkel für die wichtigsten Flächen, nämlich diejenigen, die den Würfel, das Oktaëder und das Rhombendodekaëder bilden, gegeben.

Die optische Axenebene ist parallel $c\{001\}$; die Axen stehen so nahe senkrecht auf $m\{110\}$, daß man die spitze Bisectrix von der stumpfen nicht mit Sicherheit unterscheiden kann; da die gegen die a-Axe gewandte Seite des schwarzen Balkens blau, die entgegengesetzte rot ist, liegt möglicherweise die spitze Bisectrix für rotes Licht parallel der a-Axe, diejenige für blaues Licht parallel der b-Axe. Das optische Schema ist das folgende:

$$a = \mathfrak{c}$$
$$b = \mathfrak{a}$$
$$c = \mathfrak{b}$$

Durch Erwärmung unter dem Mikroskope zeigt sich, daß, wie Ben Saude nachgewiesen hat, nun Lamellen sich bilden können, oder daß die früheren sich verschieben können; doch wird das Totalbild des Präparates nicht wesentlich geändert. Es ist unmöglich zu beobachten, ob das Mineral isotrop wird, da das von der glühenden Platte ausgesandte Licht nach und nach die Doppelbrechung weit überstrahlt. Wird das Mineral dagegen auf dem Goniometer erwärmt, so zeigt sich, daß die Zwillingslamellen bei Rotglut verschwinden, wodurch die ursprünglich getrennten Reflexe in einen zusammenlaufen; es ist also sicher, daß der Perowskit geometrisch regulär wird; ob dies aber mit einem wirklichen physikalischen Übergang verbunden ist, ist unsicher. Wahrscheinlich kann dieser jedoch nicht weit entfernt sein.

V. Die Structur des Boracits.

Schon früh hat man die Doppelbrechung des Boracits bemerkt. Brewster[1]) stellt das Mineral in die rhombische Classe, indem er eine optische Axe parallel mit einer der Raumdiagonalen des Würfels findet. Worauf diese Beobachtung, die so sehr von allen späteren abweicht, begründet ist, läßt sich kaum erklären.

Biot[2]) meint, daß die Doppelbrechung des Boracits durch Einlagerung von dünnen Lamellen (Polarisation lamellaire) verursacht ist. Es würde zu weit führen, hier näher auf diese Theorie einzugehen, die, was den Boracit anbelangt, wohl in der wiederholten Abwechslung anscheinend einfach- und doppeltbrechender Lamellen begründet ist. Etwas ähnliches spricht Volger[3]) aus, der die doppeltbrechenden Eigenschaften eingelagerten Fasern einer besonderen Substanz, des »Parasits«, zuschreibt, welche

1) Edinb. Phil. Journ. 1821, **5**, 217.

2) Mémoires de l'Acad. des sci. de Fr. 1842, **18**, 667.

3) Pogg. Ann. 1854, **92**, 77 und »Versuch einer Monographie des Boracits«. Hannover 1855.

Fasern im mehr unklaren Boracit auch im unpolarisierten Licht stark hervortretend sind. Des Cloizeaux[1]) verteidigt dieselbe Theorie, was um so merkwürdiger ist, als er doch gesehen hat, daß eine optische Axe in einigen Partien senkrecht auf den Würfelflächen sichtbar ist und es also unverständlich wird, was er zu der einfachbrechenden Substanz stellt; der Parasit wird zum rhombischen System gerechnet; der Axenwinkel desselben ($2H$) wird zu ca. 98° bestimmt. Später[2]) wird noch hinzugefügt, daß das optische Axenbild durch einen beinahe mit einer Oktaëderfläche parallelen Schliff beobachtet wird, was mit späteren Beobachtungen absolut nicht übereinstimmt.

Erst durch die Untersuchungen von Geinitz[3]) wurde es constatiert, daß der Boracit als solcher doppeltbrechend ist. Geinitz beschreibt die Orientierung und allgemeinen Eigenschaften der Parasitfasern näher; außerdem beschreibt er eine andere Art von Einlagerungen, die die Form von langen, spießähnlichen Nadeln haben und senkrecht auf den Würfelflächen stehen. Ich kann nichts anderes sehen, als daß die Beschreibung und Abbildung dieser Nadeln recht gut mit den nachher zu beschreibenden Zwillingslamellen nach {110} stimmt (vergl. Fig. 8, Taf. VII dieser Abhandlung), die auch in gewöhnlichem Lichte recht hervortretend sind; doch bemerkt Geinitz selbst, daß sie nicht als ein mit der Plagioklasstreifung analoges Phänomen betrachtet werden dürfen.

Von besonderer Bedeutung für das Verständnis des Minerals sind die Untersuchungen von Mallard[4]); er zeigt, daß der Boracit aus zwölf rhombischen, pyramidenförmigen Krystallen mit den Rhombendodekaëderflächen als Grundflächen aufgebaut ist; eine Bisectrix steht senkrecht auf jeder dieser Flächen, und die Axenebene (mit einem Axenwinkel von 90°) ist parallel der langen Diagonale des Rhombus. Die tetraëdrische Hemiëdrie wird durch Hemimorphie der Einzelindividuen nach der kurzen Diagonale des Rhombus erklärt.

Ätzfiguren auf dem Boracit werden zum erstenmal von Baumhauer[5]) beschrieben, der in einer vorläufigen Mitteilung erklärt, daß die Figuren auf Tetraëdrie, nicht auf Tetartoëdrie deuten. In einer ausführlicheren Abhandlung[6]) werden sie dagegen als auf rhombische Hemimorphie deutend beschrieben, doch so, daß die einzelnen Flächen symmetrischer sind, als man erwarten sollte (die künstlichen Ätzfiguren sind z. B. auf dem rhombischen {110} quadratisch, auf {101} und {011} gleichseitige Dreiecke

1) Nouvelles recherches 1867, 5 u. 82.
2) Minéralogie 1874, **2**, 4.
3) N. Jahrb. f. Min. usw. 1876, 484.
4) Ann. d. Mines 1876, **10**, 93. Ausz. diese Zeitschr. **1**, 312.
5) N. Jahrb. f. Min. usw. 1876, 607.
6) Diese Zeitschr. 1879, **3**, 337.

und auf {112} rectangulär). Die Krystalle sind nach Baumhauer aus sechs Pyramiden mit den Würfelflächen als Grundflächen aufgebaut; diese Pyramiden stehen miteinander in Zwillingsstellung nach Rhombendodekaëderflächen (rhombisch {112}), und die Hemiëdrie wird dadurch hervorgebracht, daß das eine Tetraëder ausschließlich von Flächen von {011}, das andere von {101} gebildet ist[1]). Aus den Zeichnungen Baumhauer's geht hervor, daß die Zwillingsbildung [111] eine große Verbreitung in seinen Präparaten gehabt hat, ohne daß er übrigens sie zu definieren versucht hat. In einer kurzen Notiz hält Mallard[2]) an seiner früheren Deutung fest, ohne jedoch neue Beobachtungen anzuführen. Ebenso weist Klein[3]) nach Untersuchung einer sehr großen Menge von Krystallen nach, daß die Deutung Mallard's die richtige ist; da aber Klein meint, daß der Boracit regulär sei, führt er natürlich keine Zwillinge an, und er sucht soweit möglich solche Schliffe auf, die nur die Grenzen zwischen den einzelnen Sectoren zeigen. Die Ätzfiguren werden von Klein in vollkommener Übereinstimmung mit der tetraëdrischen Symmetrie gefunden. In einer Abhandlung aus demselben Jahre[4]) weist Klein jedoch auch nach, daß es Krystalle gibt, die überwiegend von Tetraëderflächen begrenzt werden und nach dem von Baumhauer beschriebenen Schema gebaut sind.

Im Jahre 1881[5]) beschreibt Klein das Phänomen, daß die Grenzen zwischen den einzelnen Partien im Boracit sich bei Erwärmung verschieben, was als ein besonders guter Beweis dafür aufgefaßt wurde, daß diese Grenzen nicht durch Zwillingsbildung hervorgebracht werden können, und in einer Abhandlung aus demselben Jahre[6]) werden mehrere verschiedene Gründe dafür angeführt. Von diesen können mehrere, wie der obengenannte, auf die ungenügende Bekanntschaft Klein's mit den Phänomenen bei der Zwillingsbildung durch Gleitung zurückgeführt werden; es kann z. B. der Vorwurf, daß die rhombischen Individuen zu compliciert gebaut sein würden, wenn jedes mit dem ganzen Flächencomplex des Boracits versehen sein sollte, keine Bedeutung haben, wenn man bedenkt, wieviele monokline Formen durch Gleitung im Kryolith hervorgebracht werden können. Das Phänomen, daß die optischen Felder durch Wärme verschoben werden können, ohne daß die Form der Ätzfiguren dabei geändert wird, ist schon

1) Hierdurch scheint jedoch nicht die elektrische Polarität erklärt zu sein, indem die zwei genannten Formen doch wohl nicht verschiedene Elektricität erhalten können.

2) Bull. Soc. min. de France 1878, **3**, 147.

3) Nachr. d. k. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen 1880, **2**. Ausz. diese Zeitschr. **5**, 273.

4) N. Jahrb. f. Min. usw. 1880, **2**, 209. Ausz. diese Zeitschr. **5**, 273.

5) Nachr. d. k. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen 1881, **3**. Ausz. diese Zeitschr. **7**, 103.

6) N. Jahrb. f. Min. usw. 1881, **1**, 239. Ausz. diese Zeitschr. **7**, 103.

beim Perowskit (S. 410) besprochen und beweist nichts. Die Schlüsse, die Klein aus dem Umstand zieht, daß Zwillingsbildungen im Boracit ein Zusammenfallen von matten und glänzenden Tetraëderflächen, das sich in der Natur nicht findet, hervorbringen müßten, beruhen auf einer Verwechslung der Begriffe Zwillingsaxe und Zwillingsebene, die nicht zulässig ist, wenn von Krystallen ohne Symmetriecentrum die Rede ist.

In den nächstfolgenden Jahren führt Mallard mehrere Untersuchungen über das Mineral aus; in der ersten Abhandlung[1]) beschreibt er, wie durch Erwärmung viele Lamellen gebildet werden, die übrigens von derselben Art wie diejenigen sind, die im ursprünglichen Krystall sich finden. Sie werden teils auf Zwillingsbildungen nach {101} ({110} nach der gewöhnlichen Aufstellung), teils auf solche nach {210} oder {211} zurückgeführt; diese beiden, die, nach den Figuren zu schließen, wahrscheinlich mit den nachher zu besprechenden Zwillingen nach [111] identisch sind, können in Wirklichkeit in einer pseudoregulären Substanz nicht auftreten, da die genannten Flächen das reguläre Oktaëder und Pyramidenoktaëder repräsentieren; wenn auch die Richtung der Lamellen beinahe mit einer Oktaëderfläche parallel ist, zeigt doch schon ihre im Verhältnis zu dieser unsymmetrische Lage, daß die Zwillingsbildung nicht als eine gewöhnliche isotrope aufgefaßt werden kann. In einer folgenden Abhandlung beschreibt Mallard[2]) das sehr wichtige Verhältnis, daß der Boracit bei 300° einfachbrechend wird, und daß die doppeltbrechenden Lamellen nach der Abkühlung beinahe an denselben Stellen wiederkehren, wenn die Erwärmung nicht zu groß gewesen ist. Später[3]) wird die Umwandlungstemperatur genauer zu 265° bestimmt, und es wird gezeigt, daß der Übergang von der rhombischen zur regulären Modification von bedeutender Wärmeabsorption begleitet ist. Ferner hat Mallard[4]) die Brechungscoëfficienten des Minerals bestimmt, die in diesem Zusammenhang jedoch kein größeres Interesse besitzen.

Bei einer Untersuchung der pyroëlektrischen Eigenschaften des Boracits machte Mack[5]) die sehr wichtige Entdeckung, daß die Krystalle in dieser Beziehung sich sehr verschieden verhielten, indem die Linien, die auf der Oberfläche hervorgebracht wurden, eine Teilung entweder in Würfel- oder in Dodekaëdersectoren andeuteten, ganz übereinstimmend mit den Resultaten, die aus den optischen Verhältnissen gewonnen wurden. Obgleich die von Mack für die Elektricität gefundene Verteilung ganz ungezwungen durch die Annahme eines Aufbaues des Krystalls aus rhombisch-hemimorphen Einzelindividuen sich erklären läßt, während sie mit der regu-

1) Bull. Soc. min. de France 1882, **5**, 144. Ausz. diese Zeitschr. **9**, 398.
2) Bull. Soc. min. de France 1882, **5**, 216. Ausz. diese Zeitschr. **9**, 400.
3) Bull. Soc. min. de France 1883, **6**, 122. Ausz. diese Zeitschr. **9**, 401.
4) Ebenda S. 129.
5) Diese Zeitschr. 1884, **8**, 503.

lären Symmetrie unvereinbar ist, hält Mack doch stets daran fest, daß die Krystalle regulär sind und daß die Elektricität durch Spannungen an den Grenzen zwischen den einzelnen optischen Feldern hervorgebracht wird. Hierbei berücksichtigt er jedoch nicht, daß solche Partien, die weit von diesen Grenzen liegen, bisweilen ebenfalls stark pyroëlektrisch werden können, wie es z. B. mit den Würfelflächen an den Krystallen, die aus Würfelsectoren aufgebaut sind, der Fall ist.

In seiner Mineralogie von 1884 gibt Tschermak eine Figur, die zeigt, wie die Zwillingslamellen von den äußeren Flächen geschnitten werden, ohne daß jedoch angegeben wird, ob sie dort unmittelbar sichtbar sind. Gegen diese Figur erhebt Klein[1]) dann auch die Einwendung, daß die optischen Lamellen in der Regel viel gröber und anders orientiert sind als diese äußeren Streifen; diese müssen dann wohl als Combinationsstreifen aufgefaßt werden. In derselben Abhandlung behandelt Klein auch andere Verhältnisse bei dem Mineral und verteidigt jetzt im wesentlichen die Anschauungen Mallard's.

Während es nach der Entdeckung der Dimorphie des Boracits wohl eine sehr verbreitete Meinung war, daß das Mineral ursprünglich bei höherer Temperatur gebildet sei, macht Groth[2]) dagegen darauf aufmerksam, daß diese Annahme aus geologischen Gründen sehr unwahrscheinlich ist, und als Beispiel einer analog gebauten Substanz, die bei einer Temperatur unterhalb des Umwandlungspunktes gebildet ist, nennt Baumhauer[3]) das Kaliumsulfat, das in rhombischen, pseudohexagonalen Zwillingscomplexen gebildet wird, während es erst bei viel höherer Temperatur wirklich hexagonal wird. In derselben Abhandlung bringt Baumhauer viele Einwendungen gegen mehrere der Anschauungen von Klein über den Boracit vor, die hier nicht näher erwähnt werden sollen, wie auch nicht einige solche, die von Mallard[4]) gegen Klein vorgebracht werden. In einer Abhandlung, in welcher Klein[5]) diese beiden beantwortet, wiederholt er im wesentlichen seine früheren Theorien; er hatte schon früher[6]) die Möglichkeit angedeutet, daß ein erhöhter Druck hätte bewirken können, daß der Boracit in regulärer Form gebildet wäre, und verteidigt stets die Theorie, daß das Mineral als regulär gebildet worden ist und erst durch die Abkühlung in einen abnormen (rhombischen) Zustand umgewandelt wurde, während es geometrisch noch regulär blieb. Wie Klein, versucht auch Hankel[7]) das

1) N. Jahrb. f. Min. usw. 1884, **1**, 235. Ausz. diese Zeitschr. **10**, 299.
2) Diese Zeitschr. 1884, **9**, 405.
3) Diese Zeitschr. 1885, **10**, 451.
4) Bull. Soc. min. de France 1886, **9**, 54.
5) N. Jahrb. f. Min. usw. 1887, **1**, 223.
6) Nachr. d. k. Gesellsch. d. Wiss. Göttingen 1884, **11**, 469.
7) Abh. d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1887, **24**, 320.

Mineral als regulär aufrechtzuerhalten, indem er zur Erklärung der von Mack gemachten Beobachtung, daß in einigen Boraciten bei den pyroëlektrischen Versuchen alle Tetraëderflächen negativ elektrisch werden, annimmt, daß diese Krystalle Durchwachsungen von zwei Tetraëdern sind. Brauns[1]) hält es übrigens für unwahrscheinlich, daß der früher genannte Aufbau (nämlich ein solcher, wo der Krystall aus sechs Sectoren mit den Würfelflächen als Grundflächen besteht) wirklich existiert, und hat daher Schliffe aus Boracit mit einem herrschenden Tetraëder untersucht, die trotz vieler Unregelmäßigkeiten doch einen der Rhombendodekaëderstructur am nächsten stehenden Aufbau besitzen. Dies ist jedoch nicht besonders merkwürdig, da nach Mack diese Krystalle gerade auf solche Weise aufgebaut sein sollen, während nur diejenigen, die von zwei Tetraëdern begrenzt sind, den anderen Aufbau besitzen sollen. Brauns rechnet den Boracit zu den Substanzen, die wegen Dimorphie »optisch anomal« sind, indem er wie Klein meint, daß er ursprünglich als regulär gebildet worden ist. Die Ätzfiguren deutet er ähnlich wie Baumhauer. Wie Brauns hat übrigens auch Agafonow[2]) vergebens diejenigen Krystalle, die nach dem Schema von Baumhauer gebaut sind, gesucht, während Baumhauer[3]) selbst die beiden Typen in Krystallen von Westeregeln findet, doch so, daß sie hier nicht wie in den Krystallen von Lüneburg mit bestimmten äußeren Formen verknüpft sind. Unter den vielen neuen Beobachtungen über die Ätzfiguren des Boracits muß speciell bemerkt werden, daß diese auf der rhombischen Fläche {110} als unsymmetrisch nachgewiesen werden, was mit der rhombischen Hemimorphie vollkommen übereinstimmt. Baumhauer weist übrigens nach, daß die Zwillingsgrenzen sich während des Schleifens verschieben können, wodurch das Phänomen, daß Ätzfiguren auf Flächenteilen, wo sie gar nicht gebildet werden können, bisweilen gefunden werden, sich erklären läßt.

Die oben angeführten Untersuchungen zeigen, daß der Boracit, nach dem, was man aus den physikalischen Eigenschaften schließen kann, rhombisch hemimorph ist. Optisch verhält sich das Mineral ganz wie der Perowskit, indem es einen Axenwinkel von beinahe 90° hat und die Axen so orientiert sind, daß sie senkrecht auf die Prismenflächen zu stehen kommen. Die Ätzfiguren sind wohl in verschiedener Weise gedeutet worden und sind wohl auch sehr schwer in guter Ausbildung zu erhalten; nach den letzten Untersuchungen Baumhauer's ist es aber nicht zweifel-

---

1) Die optischen Anomalien der Krystalle 1891, 93. Ausz. diese Zeitschr. **22**, 177.

2) 8. Congreß d. russ. Nat. 1890, 4. Sect., 15—20. Ref. diese Zeitschr. 1894, **22**, 75.

3) Die Resultate der Ätzmethode in der kryst. Forschung, Leipzig 1894.

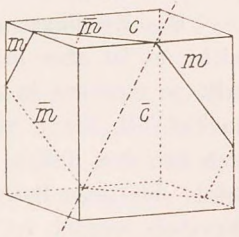
haft, daß sie ebenfalls mit der rhombischen Hemimorphie übereinstimmen. Die pyroëlektrischen Verhältnisse sind wohl gewöhnlich als auf reguläre Symmetrie deutend aufgefaßt worden, während sie in Wirklichkeit auch vollkommen mit der rhombisch-hemimorphen Krystallform übereinstimmen.

Was ich im folgenden wesentlich nachweisen werde, ist, daß die Zwillingsstructur des Boracits sich vollkommen durch die Annahme derselben drei Gesetze wie bei Perowskit erklären läßt; es ist allerdings nicht mehr möglich, die Existenz derselben durch Messung der Flächenwinkel zu constatieren, da diese so nahe mit den regulären stimmen, daß es nur in einzelnen, besonders günstigen Fällen möglich gewesen ist, die Abweichung davon zu constatieren. Die vollkommene Analogie mit Perowskit in Verbindung mit dem Umstand, daß die drei Zwillingsgesetze mit denjenigen, die man erwarten konnte, übereinstimmen, stellt die Sache außer allen Zweifel.

Trotz der Analogie, die zwischen den beiden Mineralien herrscht, haben die Schliffe jedoch ein ganz verschiedenes Aussehen. Hierzu trägt, außer der verschiedenen Farbe und Lichtbrechung, hauptsächlich der Umstand bei, daß die Verwachsungsfläche für die Zwillingsbildung [111] beim Boracit beinahe parallel dem Oktaëder ist, während sie beim Perowskit am nächsten dem Würfel parallel war. Da dieses Zwillingsgesetz meistens beim Boracit dominierend ist, erhalten die Schliffe ein viel complicierteres Aussehen, als es bei dem Perowskit der Fall war.

Die genaue Orientierung der Zwillingsgrenzen nach [111] wird am besten an rhombendodekaëdrischen Schliffen, wie später gezeigt werden soll, bestimmt. Fig. 32 gibt ein Bild davon, wie diese sehr wenig anschauliche Zwillingsbildung orientiert ist; man wird sehen, daß sie an »Würfel«schliffen in zwei Formen auftreten kann, indem es sich entweder um aneinander grenzende Partien von *m* und *c* handelt, in welchem Falle die Grenzen mit den »Würfel«-kanten Winkel von 37° 24′ und 52° 36′ bilden (wenn man von der ganz geringen Schiefe in den Winkeln der anscheinenden Würfelfläche absieht), oder um die Grenze zwischen zwei *m*-Flächen, in welchem Falle die Grenzlinie mit den Kanten einen Winkel von 45° bildet. In beiden Fällen sind die Grenzen unscharf, da sie im Verhältnis zur Ebene des Schliffes sehr schief verlaufen.

Fig. 32.



Schematisches Bild von der Zwillingsbildung [111] im Boracit.

Ein typisches Beispiel von der Structur des Boracits ist in der Fig. 7, Taf. VII zu sehen, die wie die folgenden einen Schliff parallel einer »Würfel«-fläche aus einem Krystalle von Lüneburg zeigt. Der Schliff ist hier aus der Mitte des Krystalls verfertigt. Wie beim Perowskit repräsentieren die

dunklen Partien die rhombische Fläche {110}, die helleren {001}. Die Orientierung der Figuren ist dieselbe wie beim Perowskit.

Der gewöhnliche, würfelförmige Boracit von Lüneburg ist stets aus Sectoren nach Mallard's Schema (mit den Dodekaëderflächen als Grundflächen) aufgebaut. Der größte Teil des hier behandelten Schliffes besteht aus zwei nach dem rhombischen {110} geschnittenen Sectoren; der eine Sector (unten rechts) ist ein wenig heller als der andere. Sie werden durch eine scharfe Grenzlinie (das rhombische {112}) getrennt; unmittelbar neben dieser findet sich im helleren Individuum eine dünne Lamelle aus dem dunkleren eingeschaltet, während andere naheliegende, dunkle Linien »Parasit«fasern sind. Dasselbe Zwillingsgesetz zeigt sich oben rechts auf der Figur, hier aber in der Form von horizontalen und verticalen Lamellen mit unscharfen Grenzen, wo Partien von {110} mit solchen von {001} zusammenstoßen.

Die Zwillingsbildung nach [111] findet sich in den beiden früher erwähnten Formen sehr verbreitet auf der Figur, indem entweder Flächenteile von {110} mit solchen von {001} oder nur solche von {110} allein zusammenstoßen. Im ersten Falle bilden die Lamellen mit den verticalen oder horizontalen Richtungen der Figur einen Winkel von 37° 24′, im zweiten bilden sie damit 45°. Die letzte Sorte von Lamellen findet sich in beiden dunklen Hauptteilen der Figur; sie sind recht breit mit unscharfen Grenzen und zeigen dieselbe Abwechslung zwischen dem wenig dunkleren und wenig helleren der beiden Hauptindividuen, die durch das Gesetz {112} hervorgebracht wurde.

Das Zwillingsgesetz {110} zeigt sich in der früher besprochenen Figur nicht, es ist aber in den Schliffen doch nicht selten; wenn es sich findet, tritt es meistens in großer Menge auf. Dies ist z. B. in einer Partie, die in Taf. VII, Fig. 8 abgebildet ist, der Fall. Der Schliff besteht hauptsächlich aus drei Teilen, von welchem jeder einem Sector des Krystalls angehört; das helle Individuum oben links, daß sich gegen die Außenseite des Krystalls wendet, ist nach {001}, die beiden anderen nach {110} geschliffen; die Grenzen zwischen den Sectoren werden größtenteils von der Zwillingsfläche {112} gebildet; diese ist aber an denjenigen Stellen, wo die Zwillingslamellen nach {110} auftreten, durch [111] ersetzt; sie zeigen sich von zahlreichen, scharfen, horizontalen oder verticalen Linien begrenzt. Wie man erwarten muß, tritt diese Zwillingsbildung in den basischen Schliffen mit zwei einander kreuzenden Richtungen auf, in primatischen aber nur mit einer Richtung in jedem. Die schrägen, dunklen Linien im hellen Individuum sind »Parasit«fasern, die hier, wie sonst, in keiner Verbindung mit den Zwillingsgrenzen stehen.

Noch ein Beispiel von »Würfel«schliffen ist in Taf. VII, Fig. 9 dargestellt. Die Mitte der Figur wird von einem prismatischen Flächenteil ein-

genommen, der durch die Zwillingsgrenze nach [111] von zwei basischen Flächenteilen getrennt ist; diese stoßen in einer, auf der Figur nicht sichtbaren, senkrechten Grenzlinie nach dem Gesetze {110} zusammen. Der Winkel zwischen den beiden nach [111] zusammenstoßenden Grenzen ist 74° 48′, wenn diese, wie es hier der Fall ist, denselben prismatischen Flächenteil begrenzen; wenn sie dagegen denselben basischen Flächenteil begrenzen, ist der Winkel zwischen ihnen 15° 12′.

»Rhombendodekaëdrische« Schliffe aus Boracit sind noch viel weniger anschaulich als die »Würfel«schliffe. Dessenungeachtet tragen sie doch viel zur Beleuchtung der Verhältnisse bei, namentlich zur näheren Bestimmung der Zwillingsgrenze nach [111]. Da Mallard[1]) zudem einige sehr gute Figuren von solchen Schliffen gegeben hat, werde ich hier nur in aller Kürze erörtern, wie die drei verschiedenen Zwillingsbildungen in solchen auftreten müssen[2]). Die Orientierung der Figuren auf dieser Tafel ist eine solche, daß die kurze Diagonale des »Rhombendodekaëders« senkrecht zu stehen kommt.

Ein »rhombendodekaëdrischer« Schliff besteht aus Flächenteilen der rhombischen Formen {112}, {100} und {010}, von welchen die erste eine Auslöschungsschiefe von 45° (bei der genannten Orientierung) und stärkere Doppelbrechung hat, während die beiden anderen parallele Auslöschung und schwächere (im Vergleich miteinander beinahe die gleiche) Doppelbrechung besitzen.

Die Zwillingsbildung nach {112}, die die Sectorenteilung in den Krystallen hervorbringt, zeigt sich:

1) als senkrechte, scharfe Grenze zwischen zusammenstoßenden Partien aus {112}-Flächen (oben und unten in Fig. 3);

2) als schräge, unscharfe Grenze zwischen Partien aus {112} auf der einen und {100} oder {010} auf der anderen Seite; solche begrenzen den mittleren, schwarzen Rhombus in Fig. 3. Die Grenzen sind mit den Kanten des »Rhombendodekaëders« parallel, bilden also mit der horizontalen Richtung einen Winkel von 35° 16′.

Die Zwillingsbildung nach {110} zeigt sich:

1) als senkrechte, unscharfe Grenze zwischen zusammenstoßenden Flächenteilen von {100} und {010}; solche sind nahe an der Mitte von Fig. 4 zu sehen;

2) als horizontale, scharfe Grenze zwischen Partien aus {112} allein; sie werden in Fig. 3 und noch deutlicher in Fig. 5 gesehen.

Die Zwillingsbildung nach [111] zeigt sich:

---

1) Bull. Soc. min. de France 1882, 5, Taf. 3.

2) Die meisten der Zwillingsgrenzen werden auch sehr deutlich auf der ausgezeichneten Fig. 3, Taf. 48 in Hauswaldt's Interferenzerscheinungen 1904, 2, gesehen.

1) als horizontale, unscharfe Grenze zwischen Flächenteilen von {112} allein; solche finden sich nicht mit Sicherheit in den Figuren;

2) als beinahe horizontale, unscharfe Grenze zwischen {112} und {100} oder {010}; solche treten möglicherweise links in Fig. 3 und sowohl links als rechts in Fig. 5 hervor. Der Winkel, den diese Grenze mit der horizontalen Richtung bildet, kann zu 12° 19′ berechnet werden;

3) als schräge, scharfe Grenze zwischen {112} und {100} oder {010}. Die hierbei hervorgebrachten, sehr hervortretenden Lamellen werden in allen Figuren von Mallard gesehen und sind auch sonst sehr gewöhnlich; da sie oft recht gerade und regelmäßig sind, habe ich sie als Ausgangspunkt für die Bestimmung der Lage der Zwillingsgrenze gebraucht. Den Winkel zwischen den beiden zueinander symmetrischen Systemen (rechts und links) habe ich zu 63° als Durchschnitt von vielen Messungen, die meistens nicht mehr als ein paar Grade vom Mittel abweichen, gefunden; die einzelne Lamelle bildet mit der senkrechten Linie also einen Winkel von $31\frac{1}{2}^0$[1]);

4) als schräge, scharfe Grenze zwischen Flächenteilen von {112} allein; sie bildet mit der senkrechten Linie einen Winkel von 42° 47′. Diese Grenzen sind sehr wenig sichtbar und treten nicht einmal mit einer eingeschobenen Gypsplatte hervor, was doch sonst, wo gleichartige Flächenteile aneinander stoßen, der Fall ist.

»Oktaëdrische« Schliffe sind für die Untersuchung der Zwillingsbildungen des Boracits nicht geeignet, da verschiedene Gesetze in solchen sich so ähnlich zeigen können, daß sie kaum mit Sicherheit constatiert werden können.

Die Bestimmung der krystallographischen Elemente des Boracits ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, da die Form so nahe mit der regulären identisch ist, daß es in den meisten Fällen unmöglich ist eine Abweichung zu constatieren. Selbst auf den vollkommensten Krystallflächen, die ich zur Disposition gehabt habe, ist es mir nicht möglich gewesen, ein- oder ausspringende Winkel, wie sie auf Perowskit so deutlich zu sehen sind, an den Zwillingsgrenzen zu finden. Da die natürlichen Flächen jedoch niemals ganz vollkommene Reflexe geben, habe ich künstlich geschliffene und polierte Flächen benutzt. Wenn sie bei gewöhnlicher Temperatur angefertigt werden und dann vollkommen eben sind, muß die Zwillingsbildung bei 265° hervortreten, wenn die Form merklich von der regulären abweicht. Dies hat sich in der Tat auch gezeigt.

Wird eine polierte »Würfel«fläche von Boracit auf dem Goniometer

---

1) Nach Mallard sollen diese Grenzen senkrecht zu den Kanten der Flächen des Dodekaëders stehen, also miteinander einen Winkel von 70° 32′ bilden; auf den Figuren ist der Winkel jedoch bedeutend kleiner.

erwärmt, so zeigt es sich, daß das im Anfang ganz scharfe Reflexbild bei der Umwandlungstemperatur recht verwaschen wird, sich aber bald nachher wieder concentriert, wenn es auch nicht so einfach wie vor der Erwärmung wird. Bisweilen erhält man einen etwas verschwommenen Reflex, der sich über ein Areal von einigen Minuten Durchmesser verbreitet; bisweilen zeigen sich zwei scharf getrennte Reflexe, von welchen jeder für sich vollkommen ausgebildet ist und die diagonal einander gegenübergestellt sind in einem Abstand von 3′. In diesem Falle muß man annehmen, daß die Fläche hauptsächlich aus zwei prismatischen Partien, durch eine schräge Grenze nach dem Gesetz {112} getrennt, bestanden hat. Wenn man dagegen nicht zwei getrennte Reflexe erhält, muß man annehmen, daß die Structur der betreffenden Fläche complicierter gewesen ist, nämlich dadurch, daß die anderen Zwillingsbildungen, die sich meistens als dünne Lamellen zeigen, ebenfalls vorhanden gewesen sind. Bei der Abkühlung zeigen sich dieselben Phänomene in umgekehrter Ordnung; wiederholt man indessen die Erwärmung mehrere Male, so wird man stets finden, daß der Reflex, den man bei gewöhnlicher Temperatur erhält, etwas verschwommen wird, und man kann dann beobachten, daß die Fläche mit ganz schwach hervortretenden Lamellen, die nach ihrer Orientierung auf die Gesetze {110} und [111] bezogen werden können, besetzt ist; diese Lamellen müssen durch secundäre Zwillingsbildung hervorgebracht sein und verschwinden deutlich bei Erwärmung.

Der erwähnte Winkel zwischen {110} und {$\underline{110}$} beim Zwillingsgesetz {112}, der zu 3′ bestimmt wurde, diente als Fundamentalwinkel beim Berechnen des Axenverhältnisses; außerdem ist die oben beschriebene Lage der Zwillingsgrenze nach [111] verwendet worden. Es ist mir nicht möglich gewesen, einen Controllwinkel zu finden.

Wenn man auf dieser Grundlage rechnet, kann man indessen zu zwei etwas verschiedenen Werten der *c*-Axe kommen. Dies hängt damit zusammen, daß die Orientierung der genannten Zwillingsgrenze nicht vollkommen bestimmt ist; es ist beobachtet worden, daß sie auf »Würfel«-schliffen einen Winkel von 37°24′ mit den Kanten bildet; ob sie aber so, wie in Fig. 32 gezeigt ist, liegen soll, oder ob sie am nächsten mit der *a*-Axe parallel sein soll, kann nicht mit Sicherheit constatiert werden; die große Analogie, die in anderen Richtungen mit Perowskit existiert, macht die erste Annahme am wahrscheinlichsten; hierzu kommt dann auch, daß in diesem Falle die Richtung c, wie beim Perowskit, parallel mit der *a*-Axe wird, wodurch die Analogie also in zwei Punkten vollkommen wird. Mit der hier angenommenen Orientierung der Zwillingsgrenze wird die rhombendodekaëderähnliche Pyramide {112} einen Winkel mit {110} bilden, der kleiner als 45° ist, wie es auch bei Perowskit der Fall ist, während sie im anderen Falle näher der Basis zu liegen kommt.

Der Boracit erhält nach dem obenstehenden die Elemente:

$$a : b : c = 0{,}9994 : 1 : 1{,}4144.$$

$a = 0{,}9994$	$\lg a = 999973$	$\lg a_0 = 984914$	$\lg p_0 = 015086$	$a_0 = 0{,}7065$	$p_0 = 1{,}4153$
$c = 1{,}4144$	$\lg c = 015059$	$\lg b_0 = 984941$	$\lg q_0 = 015059$	$b_0 = 0{,}7070$	$q_0 = 1{,}4144$

Wie beim Perowskit sollen in der folgenden Tabelle nur die Positionswerte für die am gewöhnlichsten vorkommenden Flächen angeführt werden. Für die anderen Formen kann man übrigens stets mit genügender Genauigkeit die für das reguläre System geltenden Werte für φ und ϱ gebrauchen (der erste muß dann um 45° vermehrt werden), von welchen die Abweichung in keinem Falle größer als $1\frac{1}{2}'$ sein wird.

Nr.	Buchstab.	Symbol	Miller	φ	ϱ	ξ_0	η_0	ξ	η	x $(x:y)$	y	$d =$ tg ϱ
1	c	0	(001)	—	0° 0′	0° 0′	0° 0′	0° 0′	0° 0′	0	0	0
2	b	0∞	(010)	0° 0′	90 0	»	90 0	»	90 0	»	∞	∞
3	a	∞0	(100)	90 0	»	90 0	0 0	90 0	0 0	∞	0	∞
4	m	∞	(110)	45 1	»	»	90 0	45 1	44 59	1,0006	∞	»
5	r	01	(011)	0 0	54 44	0 0	54 44	0 0	54 44	0	1,4144	1,4144
6	v	10	(101)	90 0	54 45	54 45	0 0	54 45	0 0	1,4153	0	1,4153
7	x	$\frac{1}{2}$	(112)	45 1	45 1	35 17	35 16	30 1	30 0	0,7077	0,7072	1,0005

Die Untersuchungen über die pyroëlektrischen Eigenschaften, die von Mack und Hankel ausgeführt worden sind, stimmen in allen Beziehungen vollkommen mit der Annahme überein, daß der Boracit aus Sectoren von rhombisch-hemimorphen Individuen aufgebaut ist. Bei den pyroëlektrischen Versuchen zeigt sich der Unterschied des Aufbaues zwischen Mallard's und Baumhauer's Typen gerade besonders deutlich. Beide Autoren suchen jedoch in verschiedener Weise die Verteilung der Elektricitäten mit der regulären Krystallform in Übereinstimmung zu bringen. Die Erklärung Mack's ist schon oben besprochen; die Theorie Hankel's, daß einige Boracite aus zwei durcheinandergewachsenen Tetraëdern aufgebaut sein sollten, läßt sich ebenfalls nicht festhalten; es zeigt sich nämlich bei pyroëlektrischen Versuchen mit Dünnschliffen, daß die Verteilung der Elektricitäten ziemlich vollkommen den Zwillingsgrenzen, die optisch bestimmt worden sind, folgen, sodaß ein so bestäubtes Präparat ein recht unregelmäßiges Bild darbietet. Infolgedessen können die vorhandenen Zwillingsebenen nicht mit der regulären Symmetrie vereinbar sein. Die reguläre Fläche {100}, die dem rhombischen {110} entspricht, kann wohl in einem tetraëdrischen Krystall Zwillingsebene sein, dasselbe kann aber unmöglich mit {110} (dem rhombischen {112}) der Fall sein, da sie im tetraëdrischen Krystall Symmetrieebene ist; wenn man auch annimmt, daß die Krystalle

tetartoëdrisch sind, wird doch die irrationale Verwachsungsfläche, die durch die rhombische Zwillingsbildung [111] hervorgebracht wird, ganz unerklärlich.

Der Umstand, daß der Boracit rhombisch-hemimorph ist, muß bewirken, daß jedes einzelne der drei Gesetze in zwei verschiedenen Weisen ausgebildet werden kann, indem es hier, wie überall in denjenigen Krystallclassen, die kein Symmetriecentrum besitzen, in der Beziehung einen Unterschied macht, ob die Individuen nach einer Zwillingsebene symmetrisch sind oder ob sie nur bei einer Drehung von 180° um die Zwillingsaxe zur Deckung gebracht werden können. Eine Entscheidung darüber, zu welcher dieser Gruppen die Zwillinge des Boracits gehören, würde sehr interessant sein, da diese Substanz das einzige Beispiel von secundärer Zwillingsbildung in einem Krystall ohne Symmetriecentrum darbietet. Es hat sich indessen als unmöglich herausgestellt, diese Frage zu entscheiden, da der Schliff nicht zu dünn sein darf, wenn er die Verteilung der Elektricitäten deutlich zeigen soll und dann die Structur nicht durch optische Untersuchung festgestellt werden kann. Nur soviel kann man mit Sicherheit sagen, daß diejenigen Zwillingsbildungen nach {112}, die den Sectorenaufbau hervorbringen, in der ersten Gruppe (Symmetriezwillinge) stehen müssen, da die elektrische Verteilung auf der Oberfläche der Krystalle sonst ganz anders, als sie in der Wirklichkeit ist, sein müßte.

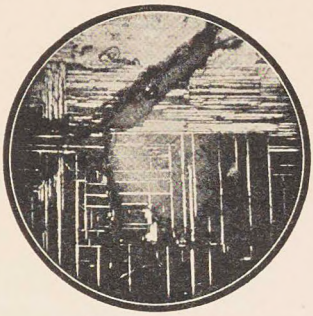


Fig. 1 (× 7½).

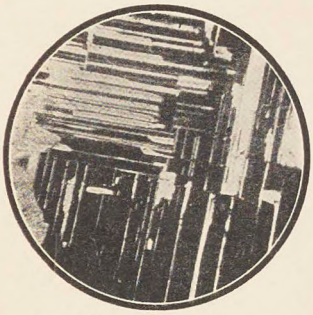


Fig. 2 (× 8½).

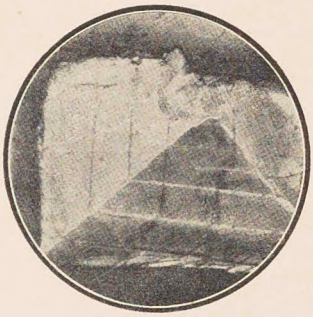


Fig. 3 (× 8½).

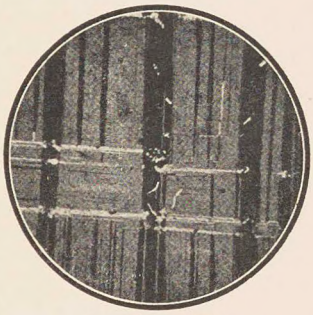


Fig. 4 (× 8½).

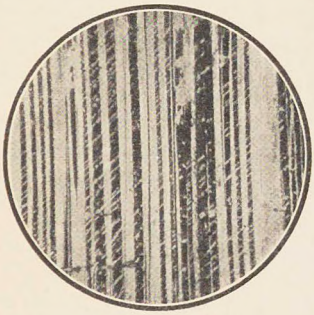


Fig. 5 (× 8½).

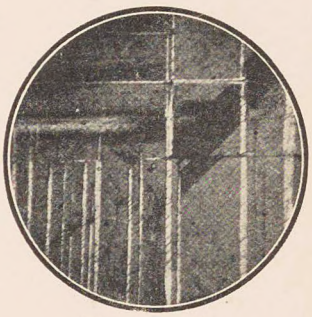


Fig. 6 (× 10).

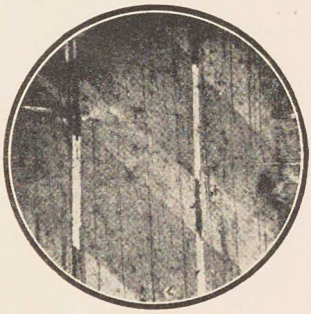


Fig. 7 (× 8½).

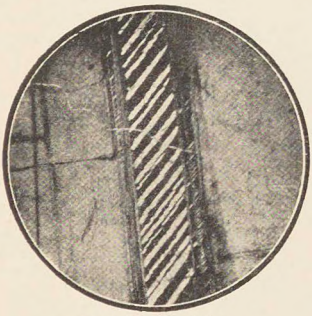


Fig. 8 (× 8½).

Fig. 9 (× 8½).

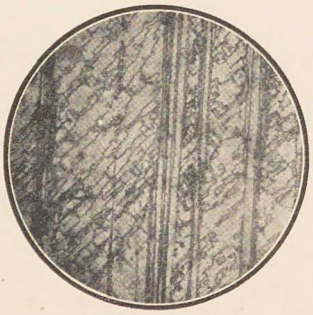


Fig. 10 (× 25).

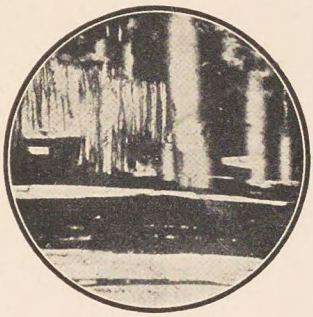


Fig. 1 (× 8½).

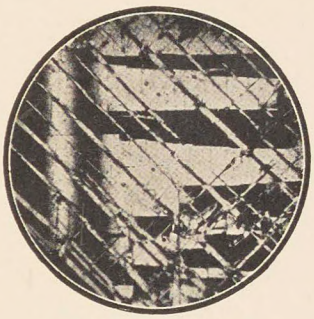


Fig. 2 (× 8½).

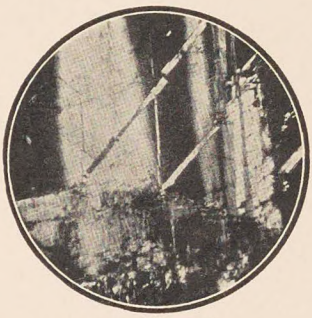


Fig. 3 (× 8½).

Fig. 4 (× 8½).

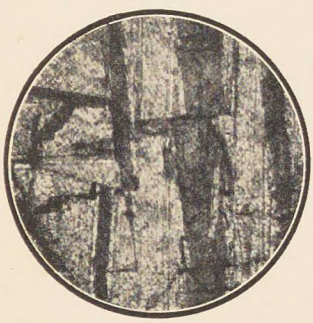


Fig. 5 (× 30).

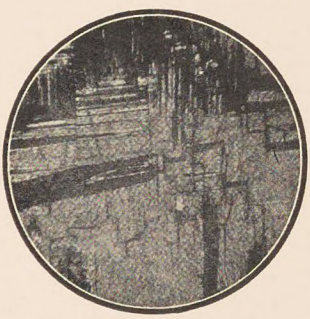


Fig. 6 (× 10).

Fig. 7 (× 8½).

Fig. 8 (× 36).

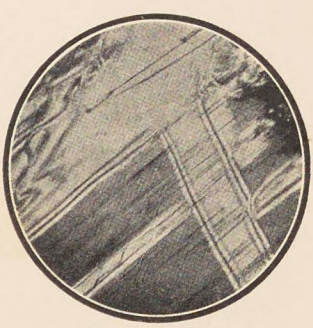


Fig. 9 (× 36).

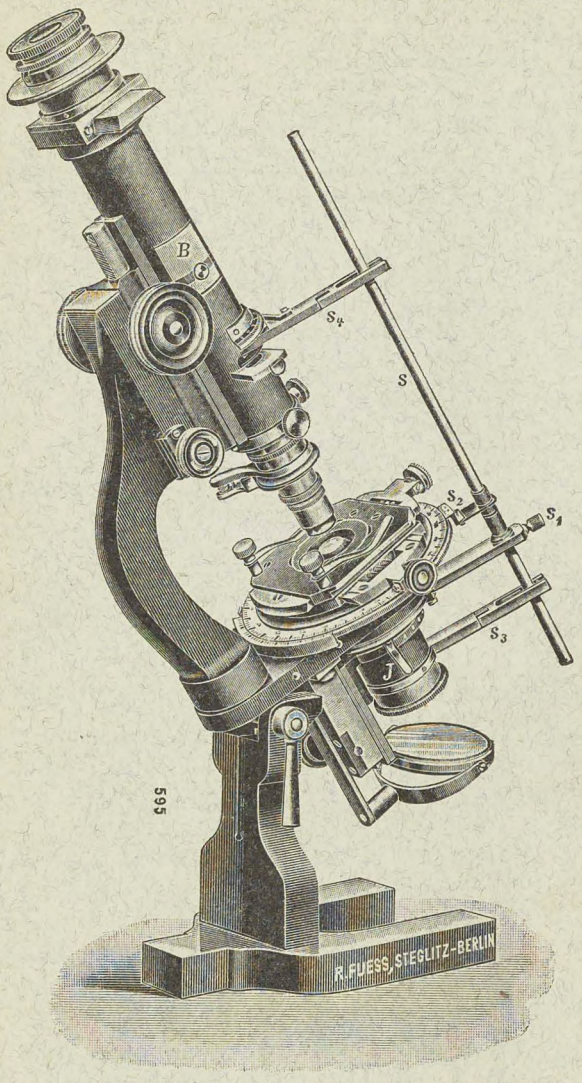
Seite

19. *M. Faura y Sans*, Bemerkung über den angeblichen Aragonit von San Sadurni de Noya. 473
20. *E. Wittich*, die Mineralarten des Guanajuato-Gebirges. 473
21. *G. Ponte*, der Diabas von Paraspora und die Deformationserscheinungen seiner Feldspäte 475
22. *E. Artini*, Brugnatellit, ein neues im Malenco-Tale gefundenes Mineral 475
23. *F. Millosevich*, Notizen über die Mineralogie Sardiniens: Andesin vom Monte Palmas (zwischen Sassari und Alghero) 476
24. *A. Rosati*, Krystallographische Untersuchung des Nitrodesmotroposantonins und des β-Propylnaphtylketons 477
25. *F. Zambonini*, über die Identität des Belonesits mit dem Sellaït 478
26. *E. Clerici*, vereinfachtes Verfahren, um unter dem Mikroskop den Brechungsexponenten zu bestimmen 479
27. *A. Serra*, Studien über sardinische Mineralien: Mimetesit von der Kupfergrube Bena (d) e Padru (Ozieri) 479
28. *L. Colomba*, Baryt von Brosso und Traversella 480
29. *A. Rosati*, krystallographische Untersuchung der Thymotinsäure und zweier isomerer Thymotide 480
30. *G. Pellini*, Beitrag zum Studium des Isomorphismus zwischen Tellur und Schwefel 481
Derselbe, Mischkrystalle von Schwefel und Tellur. 481
31. *M. Padoa* und *L. Mervini*, über den Einfluß von Verunreinigungen auf die unteren Grenzen der Krystallisation 482
32. *A. Serra*, Studien über sardinische Mineralien. Baryt von Bonvei (Mara) und Heulandit vom Colle Giuargada (Villanova-Monteleone) 482
33. *F. Millosevich*, Notizen über die Mineralogie Sardiniens. Neue oder seltene Formen am Phosgenit von Monteponi 483
34. *L. Mascarelli* und *I. Musatty*, das Cyclohexan als kryoskopisches Lösungsmittel. (Verhalten des im Cyclohexan gelösten Cyclohexanons) 484
35. *G. Pellini*, der Isomorphismus von Sulfaten, Selenaten und Telluraten 484
36. *A. Serra*, Studien über sardinische Mineralien; einige Mineralien der Provinz Sassari. 485
Derselbe, weitere Untersuchungen über den Heulandit vom Colle Guiargada (Villanova-Monteleone) 485
37. *Derselbe*, über einen merkwürdigen Scheelitkrystall von Traversella 485
38. *A. Martelli*, petrographische und chemische Untersuchungen über die granitischen Formationen von Gavorrano. 486
39. *G. Spezia*, über das Wachstum des Quarzes 486
40. *L. Colomba*, Beziehungen zwischen den Dichten und den krystallographischen Constanten in einigen Gruppen von Substanzen . . 487
41. *G. Piolti*, über den Onkosin von Variney 489
42. *G. Lincio*, über den Baryt vom Cungians-Lager, Monteponi-Grube, Sardinien 489
43. *P. Aloisi*, der Quarz aus dem Marmor von Carrara 490
44. *F. Millosevich*, über die eisenarmen Epidote (Klinozoisit-Epidot) von S. Barthélemy im Aosta-Tale 492
45. *A. Pelloux*, Spangolit von Arenas und Polybasit vom Sarrabus in Sardinien 493
46. *E. Billows*, krystallographische Untersuchung einiger Selencyanplatinate. 494
47. *U. Panichi*, krystallographische Bestimmung neuer Verbindungen 495
48. *H. Panebianco*, über die größte Dichte des Berylls und über die Ausdehnungsformel des Wassers zwischen — 10° und + 4° . . 496
49. *L. Colomba*, mineralogische und lithologische Beobachtungen in dem oberen Dora Riparia-Tal. Gesteine und Mineralien aus der Beaume, Oulx 497
50. *E. Billows*, über einen merkwürdigen Isomorphismus unter complexen Molybdaten der seltenen Erden 500
51. *Derselbe*, Mischkrystalle von Schwefel und Tellur 503
52. *Derselbe*, krystallographische Bestimmung neuer organischer Verbindungen 504
53. *Derselbe* über die Krystallform einiger Sulfocyanplatinate 509
54. *E. Manasse*, Beiträge zum petrographischen Studium der Colonie Erythraea 510
55. *L. Colomba*, über einige Mineralien vom Ruwenzori 511

R. FUESS ▫ Mechanisch-optische Werkstätten

Abt. I.

STEGLITZ BEI BERLIN



Neues Mikroskop, Modell II a, nach F. E. Wright.
C. Leiss, Zeitschrift für Krystallographie, **49.** 198. 1911.

Dieses Modell stellt eine sehr vollkommene, für alle petrographischen und krystallographischen Arbeiten ausreichende Ausführungsform dar. Als Beleuchtungsapparat kommt auch hier wie bei dem Modell Ia der **große Abbe'sche Beleuchtungsapparat** in Verbindung mit dem **großen Ahrens'schen Polarisatorprisma** zur Verwendung. Gleichzeitig besitzt das Instrument eine einfache und sehr solide Einrichtung zur gemeinsamen Drehung des Polarisators und Tubus-Analysators; letzterer kann außerdem für sich allein gedreht **und** aus- und eingeschaltet werden. Die Winkelwerte für die gemeinsame Nicoldrehung werden an der Teilung des drehbaren Objekttisches abgelesen. — Die besonderen **Vorteile** des großen Beleuchtungsapparates in Verbindung mit dem großen Ahrens-Prisme sind:

a) höhere Lichtstärke,
b) größerer Objektabstand,
c) Fortfall der Kondensorausschaltung für konvergentes Licht.

Die übliche Aus- und Einschaltung des Linsensatzes für konvergentes Licht ist also völlig entbehrlich, denn man kann nunmehr vom schwächsten Objektiv (z. B. Nr. O) zum stärksten übergehen, ohne in den meisten Fällen überhaupt am Kondensor etwas stellen zu müssen. — **Katalog Nr. 132** über mineralogische und petrographische Instrumente auf Wunsch gratis.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.